

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA EN PRODUCCION INDUSTRIAL
LICENCIATURA EN INGENIERIA EN PRODUCCION INDUSTRIAL
PROYECTO DE GRADUACIÓN

TICO ELECTRONICS

ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE SOLUCIÓN PARA AUMENTAR EL
PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO DE PEDIDOS DE LOS MOTORES HSTA Y
SPOILER EN AL MENOS UN 5% EN LA LÍNEA NORTH MAIN

REALIZADO POR:

BRYAN ZAMORA VARGAS

PROFESOR ASESOR:

ING. ERICK PÉREZ MURILLO

ASESOR INDUSTRIAL:

JAVIER SALAZAR PÉREZ

II SEMESTRE, 2019

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

El presente Proyecto de Graduación titulado "Elaboración de propuestas de solución para aumentar el porcentaje de cumplimiento de pedidos de los motores HSTA y Spoiler en al menos un 5% en la línea North Main" y realizado en la empresa "Tico Electronics", durante el I Semestre de 2020, ha sido defendido, ante el Tribunal Examinador integrado por los profesores Ing. Juan José Valerio Vindas e Ing. Óscar Córdoba Artavia; como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Producción Industrial, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

La orientación y supervisión del proyecto desarrollado por el estudiante, estuvo a cargo del profesor asesor Ing. Erick Pérez Murillo.

JUAN JOSE DE
LOS ANGELES
VALERIO VINDAS

Firmado digitalmente por
JUAN JOSE DE LOS
ANGELES VALERIO VINDAS
Fecha: 2020.08.13 16:13:41
-06'00'

Ing. Juan José Valerio Vindas
Profesor Evaluador

OSCAR
GERARDO
CORDOBA
ARTAVIA (FIRMA)

Firmado digitalmente
por OSCAR GERARDO
CORDOBA ARTAVIA
(FIRMA)
Fecha: 2020.08.13
17:26:55 -06'00'

Ing. Óscar Córdoba Artavia
Profesor Evaluador

TEC | Tecnología
de Costa Rica

Firmado digitalmente
por ERICK JOSE PEREZ
MURILLO (FIRMA)
Fecha: 2020.08.13
14:35:18 -06'00'

Ing. Erick Pérez Murillo
Profesor Asesor

Bryan Z.V

Sr. Bryan Zamora Vargas
Estudiante

Alajuela, Agosto 2020.

AGRADECIMIENTO

Quiero dejar patente mi agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de mi Proyecto de Graduación. Mi agradecimiento al Ing. Javier Salazar Pérez, Ingeniero Industrial y demás compañeros de Tico Electronics, por su apoyo y guía.

Mención especial merece el Ing. Erick Pérez Murillo, MSc, profesor asesor, por su orientación y consejos para el éxito del proyecto.

A mis padres que me brindaron siempre sus palabras de aliento y confianza en que podía lograr el objetivo.

Así mismo a mis compañeros y amigos, Esteban Valenciano Rojas y Erick Serrano Salazar por su apoyo y consejos.

A todos muchas gracias.

DEDICATORIA

A mis padres y amigos por toda la ayuda y apoyo que me brindaron durante mis años de estudio.

ÍNDICE GENERAL

Descripción	Página
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
Resumen.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	i
A. Identificación de la empresa	ii
B. Antecedentes históricos.....	ii
C. Justificación del proyecto	xii
C. Objetivos del proyecto.....	xii
D. Alcances y limitaciones	xiii
II. MARCO TEÓRICO.....	xv
1. Información general.....	xvi
2. Aspectos metodológicos	xvi
3. Herramientas utilizadas.....	xvii
III. METODOLOGÍA	xxvii
1. Definir	xxviii
2. Medir.....	xxviii
3. Analizar.....	xxviii
4. Mejorar.....	xxviii
5. Controlar	xxviii
IV. DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL	xxx
A. Definir del problema	xxxii
B. Análisis de involucrados y aspectos generales del proceso.....	xxxvi
C. Medición del impacto a la empresa por incumplimiento de demanda	xxxviii

D.	Análisis de origen y correlación de las principales causas con el problema.	xliv
V.	CONCLUSIONES DE LA SITUACIÓN ACTUAL	lvi
VI.	SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO	lviii
A.	Balanceo de línea para 35 motores semanales.	lx
B.	Balanceo de línea para 30 motores semanales.	lxv
C.	Balanceo de línea para 25 motores semanales.	lxxii
D.	Plan de implementación para la propuesta de Balanceo de línea	lxxviii
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
	Conclusiones	86
	Recomendaciones	87
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
IX.	APÉNDICES	92

ÍNDICE DE CUADROS

Descripción	Página
Cuadro No. 1 Desglose de operarios para Tico Electronics y la línea North Main	vi
Cuadro No. 2 Tipos de productos en Tico Electronics	vii
Cuadro No. 3 Cuadro metodológico	xxix
Cuadro No. 4 Oferta vs Demanda de motores a lo largo del periodo en estudio	xxxii
Cuadro No. 5 Porcentaje de cumplimiento de la demanda a lo largo del periodo en estudio	xxxiii
Cuadro No. 6 Análisis SIPOC para la elaboración de los motores HSTA y SPOILER ..	xxxvi
Cuadro No. 7 Análisis de stakeholders	xxxvii
Cuadro No. 8 Operaciones compartidas por ambos motores.....	xxxviii
Cuadro No. 9 Distribución de horas extras trabajadas a lo largo del periodo en estudio ..	xlii
Cuadro No. 10 Resumen de pagos por horas extras	xliii
Cuadro No. 11 Resumen de costos de oportunidad.....	xliii
Cuadro No. 12 Equipo de trabajo para recopilación y análisis de datos	xliv
Cuadro No. 13 Técnica multivoto para priorización de causas.....	xlviii
Cuadro No. 14 Distribución de tiempos semanalmente	xlix
Cuadro No. 15 Tiempos estándar para los procedimientos requeridos en los motores SPOILER y HSTA	l
Cuadro No. 16 Distribución actual de tiempos por centro de trabajo para el motor Spoiler .li	li
Cuadro No. 17 Impacto económico generado por flujo discontinuo del motor Spoiler a lo largo de los centros de trabajo	lii
Cuadro No. 18 Distribución actual de tiempos por centro de trabajo para el motor HSTA .liii	liii
Cuadro No. 19 Impacto económico generado por flujo discontinuo del motor HSTA a lo largo de los centros de trabajo	liv
Cuadro No. 20 Resumen de la relación entre capacidad de producción y demanda del cliente.....	lv
Cuadro No. 21 Estimación del takt time propuesta 1	lx
Cuadro No. 22 Primer balance de línea propuesto para el motor Spoiler	lxi
Cuadro No. 23 Cambios realizados en la distribución de tareas para la primer propuesta del motor Spoiler	lxii
Cuadro No. 24 Primer balance de línea propuesto para el motor HSTA.....	lxiii
Cuadro No. 25 Cambios realizados en la distribución de tareas para la primer propuesta del motor HSTA.....	lxiv
Cuadro No. 26 Resultados obtenidos para el análisis económico de la propuesta para la elaboración de 35 motores.....	lxiv
Cuadro No. 27 Estimación del takt time propuesta 2	lxv
Cuadro No. 28 Segundo balance de línea propuesto para el motor Spoiler	lxvi
Cuadro No. 29 Cambios realizados en la distribución de tareas para la segunda propuesta del motor Spoiler	lxvii
Cuadro No. 30 Segundo balance de línea propuesto para el motor HSTA.....	lxviii
Cuadro No. 31 Cambios realizados en la distribución de tareas para el motor HSTA	lxx
Cuadro No. 32 Resultados obtenidos para el análisis económico de la propuesta para la elaboración de 30 motores.....	lxxi

Cuadro No. 33	Estimación del takt time propuesta 3	lxxii
Cuadro No. 34	Tercer balance de línea propuesto para el motor Spoiler	lxxiii
Cuadro No. 35	Cambios realizados en la distribución de tareas para el motor Spoiler..	lxxiv
Cuadro No. 36	Tercer balance de línea propuesto para el motor HSTA	lxxv
Cuadro No. 37	Cambios realizados en la distribución de tareas para la tercer propuesta del motor HSTA.....	lxxvi
Cuadro No. 38	Resultados obtenidos para el análisis económico de la propuesta para la elaboración de 25 motores.....	lxxvii
Cuadro No. 39	Plan de Implementación.....	lxxviii
Cuadro No. 40	Diagrama de Gantt para la implementación de propuestas	lxxx
Cuadro No. 41	Balance de línea propuesto para el motor HSTA.....	lxxxi
Cuadro No. 42	Escala de severidad.....	lxxxii
Cuadro No. 43	Escala de ocurrencia.....	lxxxii
Cuadro No. 44	Escala de detección	lxxxii
Cuadro No. 45	Análisis Modal de Fallos y Efectos para la propuesta A.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Descripción	Página
Figura No. 1 Línea del tiempo hitos históricos de Tico Electronics	iii
Figura No. 2 Organigrama general de la empresa	iii
Figura No. 3 División jerárquica del departamento de ingeniería	iv
Figura No. 4 Ubicación geográfica de la empresa.....	v
Figura No. 5 Logotipo de algunos de los clientes de Tico Electronics.....	viii
Figura No. 6 Diagrama General del proceso productivo	ix
Figura No. 7 Ilustración de un motor HSTA.....	xi
Figura No. 8 Ilustración de un motor Spoiler	xi
Figura No. 9 Ejemplo de diagrama de flujo	xix
Figura No. 10 Ejemplo de diagrama de Ishikawa	xx
Figura No. 11 Ejemplo de estructura de desglose de trabajo.....	xxiv
Figura No. 12 Ejemplo de diagrama de Gantt	xxv
Figura No. 13 Ejemplo de herramienta AMFE.....	xxvi
Figura No. 14 Etapas del diagnóstico de la situación actual	xxxi
Figura No. 14 Oferta versus demanda de los motores Spoiler.....	xxxiv
Figura No. 16 Diagrama de flujo de los motores Spoiler	xl
Figura No. 17 Diagrama de flujo de los motores HSTA.....	xli
Figura No. 18 Diagrama de Ishikawa de causas relacionadas al incumplimiento de la demanda de motores	xlv
Figura No. 19 Esquema representativo de la relación de la problemática, con sus efectos, causas y soluciones a las mismas.	lix
Figura No. 19 Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) para la propuesta A.....	lxxix

Resumen

Zamora Vargas, Bryan Alonso. Julio, 2020. Elaboración de propuestas de solución para aumentar el porcentaje de cumplimiento de pedidos de los motores HSTA y Spoiler en al menos un 5% en la línea North Main, Instituto tecnológico de Costa Rica. Profesor Asesor: Ing Erick Murillo Pérez.

El presente proyecto fue desarrollado en la empresa Tico Electronics localizado en la zona franca BES de Alajuela. El mismo consistió en la elaboración de propuestas de solución para aumentar la cantidad de motores producidos semanalmente en la línea North Main. El objetivo del estudio fue aumentar en al menos un 5% el porcentaje de cumplimiento de los pedidos del cliente para estos motores.

En el diagnóstico de la situación actual se estableció que la demanda semanal de los motores HSTA era de 15 unidades y para el motor Spoiler de 20 unidades, de las cuales se obtuvo un porcentaje de cumplimiento de la demanda de 71.5% para los HSTA y de 88.76% para los Spoiler a lo largo del periodo en estudio. Así mismo, se pudo determinar que los efectos generados por el incumplimiento en los pedidos de motores, estaban dados por un costo de oportunidad equivalente a \$82,716.99 y por pagos por horas extras trabajadas, equivalentes a \$1003.88.

Por otra parte, se determinó que la principal causa que genera estos efectos es el flujo discontinuo de los motores dentro de los centros de trabajo, donde se identificó basado en la distribución de las tareas, así como los tiempos asociados a estas, que mientras algunos operarios requerían de alrededor de 90 minutos para pasar el motor al siguiente centro de trabajo, otros requerían de hasta la mitad de tiempo, situación que se presentaba de forma similar en la elaboración de ambos motores y que confirma la discontinuidad en el flujo de los motores dentro de los diferentes centro de trabajo.

Consecuentemente, se crearon propuestas de solución que erradicarán en un 100% los efectos generados por el flujo discontinuo de los motores, siendo estas 3 diferentes balances de línea para una producción semanal por acuerdo con el cliente de 35, 30 o 25 motores, donde todas las propuestas lograrán cumplir al 100% con la demanda y además generan ingresos extras semanales equivalentes a \$8210.05, \$2571.50 y \$225.03 respectivamente.

Palabras claves: Spoiler, HSTA, Motores, Demanda, Flujo, Producción.

Abstract

Zamora Vargas, Bryan Alonso. July 2020. Preparation of solution proposals to increase the percentage of fulfillment of orders for HSTA and Spoiler engines by at least 5% in the North Main line, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Advisory Professor: Ing Erick Murillo Pérez.

This project was developed in the Tico Electronics company located in the BES free zone of Alajuela. It consisted of the development of solution proposals to increase the number of engines produced weekly on the North Main line. The aim of the study was to increase the percentage of customer order fulfillment for these engines by at least 5%.

In the diagnosis of the current situation, it was established that the weekly demand for HSTA engines was 15 units and for the Spoiler engine 20 units, of which a percentage of compliance with the demand of 71.5% was obtained for HSTAs and 88.76% for Spoilers throughout the study period. Likewise, it was determined that the effects generated by non-compliance in engine orders were given by an opportunity cost equivalent to \$ 82,716.99 and by payments for overtime worked, equivalent to \$ 1003.88.

On the other hand, it was determined that the main cause that generates these effects is the discontinuous flow of the motors within the work centers, where it was identified based on the distribution of the tasks, as well as the times associated with these, that while some Operators required around 90 minutes to pass the motor to the next work center, others required up to half the time, a situation that occurred in a similar way in the construction of both motors and that confirms the discontinuity in the flow of the motors within the different work centers.

Consequently, solution proposals were created that will eradicate 100% the effects generated by the discontinuous flow of the motors, these being 3 different line balances for a weekly production by agreement with the client of 35, 30 or 25 motors, where all the proposals will achieve 100% compliance with the demand and also generate extra weekly income equivalent to \$ 8210.05, \$ 2571.50 and \$ 225.03 respectively.

Key Words: Spoiler, HSTA, Engines, Flow, Production

I. INTRODUCCIÓN

A. Identificación de la empresa

A continuación, se muestra información acerca de Tico Electronics, empresa donde se desarrolló el presente proyecto, siendo esta pionera de la manufactura en el ámbito electrónico aeroespacial a nivel nacional.

Misión:

La misión de Tico Electronics S.A. es proveer servicios de manufactura de alta calidad que requieran de personal calificado, funcionando con una extensión de negocio para clientes.

Lo anterior se logra mediante:

- El desarrollo de una relación con nuestros clientes basada en la integridad y la honestidad.
- La mejora continua de las capacidades, promoviendo flexibilidad y adaptabilidad, entregando calidad y valor en todo lo que hacemos.
- El mejoramiento de las vidas de nuestros empleados mediante su desarrollo financiero, mental, físico y espiritual.

Fuente: Brindado por la empresa Tico Electronics

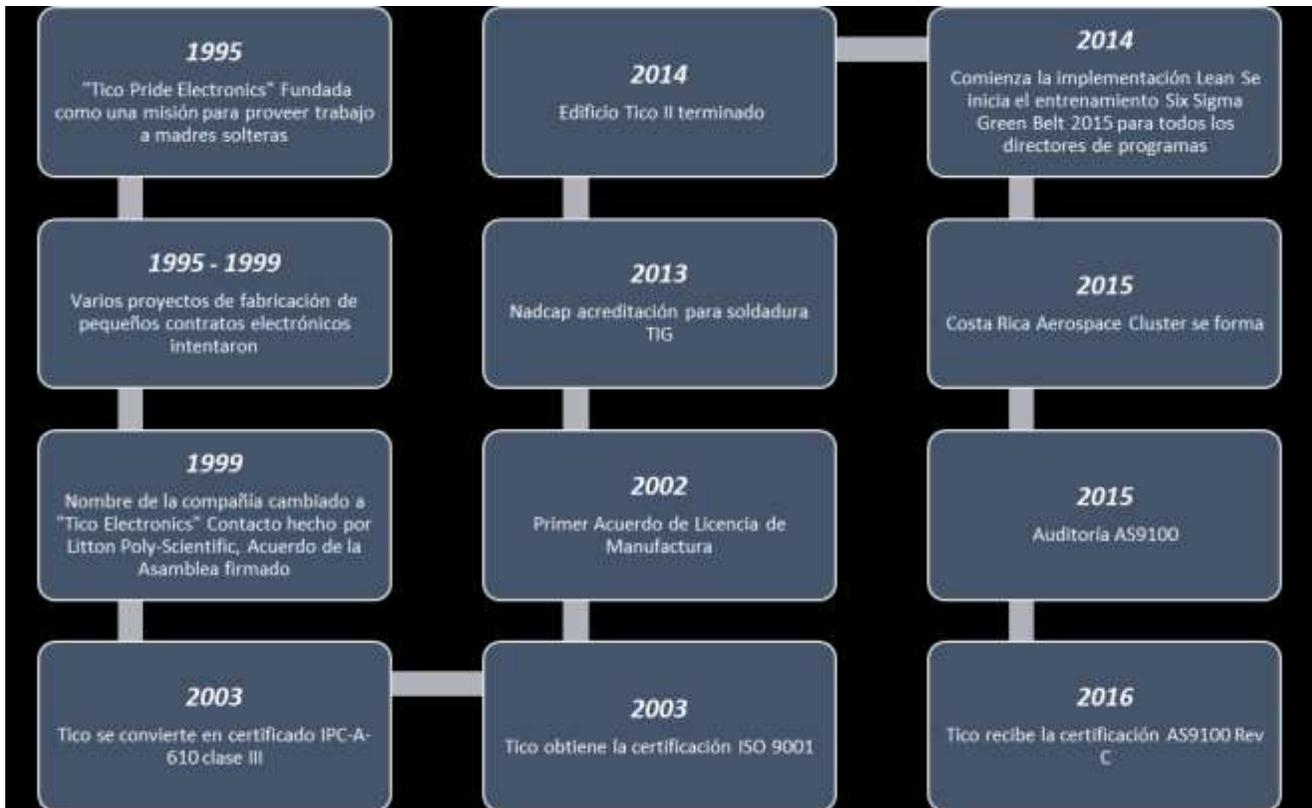
Visión:

Ser la empresa líder a nivel latinoamericano en manufactura electrónica mediante la excelencia de nuestros procesos y la generación de productos de alta complejidad que cumplan los estándares más rigurosos de calidad.

Fuente: Brindado por la empresa Tico Electronics

B. Antecedentes históricos

Tico Electronics TPE S.A. es una empresa dentro de la industria de fabricantes de equipo eléctrico en Alajuela, fundada en 1991. Esta empresa privada ha estado operando 16 años más que lo normal para una empresa en Costa Rica, y 10 años menos que lo típico para fabricantes de equipo eléctrico. A continuación, un poco de reseña histórica acerca de su trayectoria.

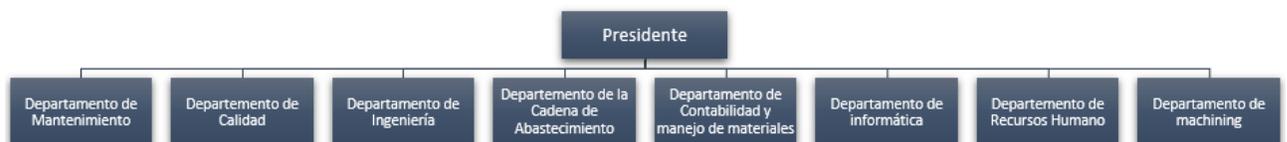


Fuente: Elaboración propia con información brindada por la empresa

Figura No. 1 Línea del tiempo hitos históricos de Tico Electronics

Estructura organizativa

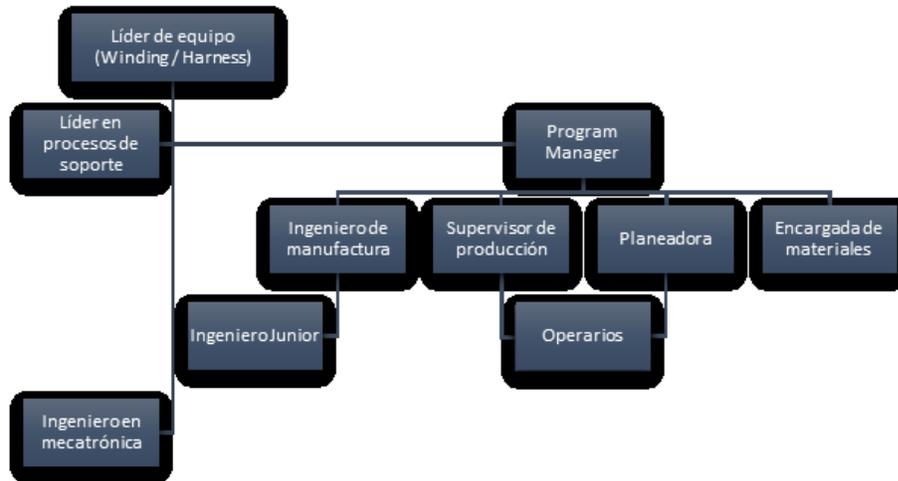
La estructura organizativa de la empresa Tico Electronics está compuesta de manera general por un presidente como el mayor de los mandos. Además, como se puede observar en la figura No. 2. Tico Electronics cuenta con 8 departamentos encargados de mantener un funcionamiento eficiente y de alta calidad en el aprovisionamiento de sus diferentes productos. Cabe destacar que el desarrollo de este proyecto se llevará a cabo considerando únicamente el departamento de Ingeniería, por lo que a continuación se detallará los niveles jerárquicos de dicha área.



Fuente: Elaboración propia con información brindada por la empresa

Figura No. 2 Organigrama general de la empresa

A continuación, se explica más ampliamente las subdivisiones dentro de la misma para conocer el personal involucrado en el desarrollo del proyecto, así como sus respectivas funciones.



Fuente: Elaboración propia con información brindada por la empresa

Figura No. 3 División jerárquica del departamento de ingeniería

A través de la figura No.3 se pueden identificar diferentes colaboradores relacionados con el departamento de ingeniería, sin embargo, el proyecto tendrá relación únicamente con el líder de equipo, el program manager² de la línea, la planeadora, la supervisora, un ingeniero junior y 3 operarios.

Cabe destacar que el mayor rango en la jerarquía del departamento de ingeniería está dado por el líder de equipo, siendo este parte fundamental en el desarrollo del proyecto, al tener como parte de sus responsabilidades colaborar en los proyectos de mejora de las diferentes líneas.

Por otro lado, el program manager está encargado de dirigir, controlar y mejorar las líneas de producción. Así mismo, la planeadora como una de sus funciones, se incluye el controlar todo tipo de registros pertinentes a la línea. La supervisora, a través de su conocimiento con respecto a toda la línea, se encarga de asegurarse que todo se haga de acuerdo con los procedimientos establecidos, la encargada de materiales se dedica a

² Máxima encargado de dirigir la línea de producción

proporcionar los insumos a la celda de producción y finalmente los 3 operarios, los cuales están encargados de la producción de los motores HSTA y Spoiler.

Ubicación Geográfica

Tico Electronics S.A. es una empresa ubicada en la Zona Franca BES específicamente en El Coyol de Alajuela. Cuenta con tres plantas de manufactura especializada en el desarrollo de manufactura electrónica bajo contrato con empresas multinacionales.

Los productos generados por la manufactura son principalmente enfocados a la industria aeroespacial o nuclear. A continuación, en la Figura No. 4 se muestra el mapa obtenido de Google maps con la ubicación exacta de la empresa.



Fuente: Google Maps

Figura No. 4 Ubicación geográfica de la empresa

Número de empleados

Tico Electronics subdivide sus empleados en 25 áreas diferentes, en las cuales acumulan un total de 470 empleados, sin embargo, para el desarrollo de este proyecto, únicamente será tomado en consideración la línea North Main. A continuación, se muestra la cantidad de operarios según el área específica.

Cuadro No. 1 Desglose de operarios para Tico Electronics y la línea North Main

Área	Cantidad	Departamento de ingeniería de la línea North Main		
Administración	38	Puesto	Cantidad	Involucrados
Avionics	73	Líder team Winding	1	1
AvtechTyee	5	Program manager	1	1
BBSR	10	Ingeniero Junior	2	0
BN Motors	59	Supervisora de producción	1	1
Bodega	25	Planeadora	1	1
Brushless	37	Encargada de materiales	1	1
Calidad	7	Operarios	36	4
Cobham	1	Total	43	9
CurtissCW	56			
Establishment	1			
Harco	14			
Island	5			
Machining	22			
Mantenimiento	25			
Moog Industrial	2			
Moog NY	18			
North Main	43			
Parker	3			
PPRT3	2			
Remtronics	3			
Skurka	6			
Whippany	8			
Zetec	4			
Zipline	3			
Total	470			

Fuente: Elaboración propia con información brindada por Tico Electronics

A través del cuadro No.1 se puede observar la totalidad de los empleados según su respectiva línea de trabajo, así como la cantidad de personal en estas. Además, en la

sección titulada como departamento de ingeniería de la línea North Main, se puede observar el desglose de operarios dentro de esta, así como el personal que estará involucrado dentro del proyecto, siendo estos, 4 operarios encargados del ensamble de los motores HSTA y Spoiler, la planeadora de la línea, la supervisora de la línea, la encargada de materiales, un ingeniero junior, el program manager y el líder del equipo Winding.

Tipos de productos

Tico Electronics cuenta con una amplia variedad de productos, las cuales se encuentran subdivididos en 4 grandes áreas, siendo estas embobinados de alambre, arneses de cable, mecanizado y otros electromecánicos. A continuación, se muestra el desglose de los productos mencionados anteriormente.

Cuadro No. 2 Tipos de productos en Tico Electronics

Productos	
Bobinados de alambre	· Stators y Rotores para Resolvers
	· Synchro's
	· DC sin escobillas,
	· Bobinas
Arneses de cables	· Frenos
	· Control de vuelo
	· Arnés del motor
Otros electromecánicos	· Arnés de termopar en el motor
	· Cepillo de bloqueo / anillos deslizantes
	· Sensores de flujo de aire y temperatura
	· Solenoides
	· Joysticks en miniatura
Mecanizado	· Conjuntos hidráulicos
	· Cajas
	· Carcasas traseras
	· Bujes,
	· Herramientas
	· Luminarias

Fuente: Elaboración propia con información brindado por la empresa

Tomando como referencia la figura anterior, cabe destacar que para el desarrollo de este proyecto solo se ve involucrada el área de embobinados de alambre, en el cual se fabrican los estatores y rotores para resolvers ², componentes necesarios para iniciar el ensamble de los motores HSTA y Spoiler. Además, es importante mencionar que el resto de las partes necesarias para elaborar los motores son enviados directamente por el cliente

². Componente encargado de generar el campo magnético que permite dar dirección al motor

Mercado de exportaciones

Actualmente Tico Electronics cuenta con 21 líneas de producción, donde estas exportan a países como Estados Unidos, Canadá y México a clientes de la industria aeroespacial mundial, exportando un aproximado que ronda entre \$250 000 y \$300 000 mensuales.

Tico Electronics tiene relaciones con clientes como los que se muestran a continuación, sin embargo, la línea North Main solo tiene relación con uno de estos (Moog).

- Moog
- Curtiss Wright
- Establishment Labs
- Harco
- Moog Brushless
- Moog BN Motors
- Zipline
- Moog Avionics
- Zetec
- Island components



Fuente: Brindado por la empresa Tico Electronics,

Figura No. 5 Logotipo de algunos de los clientes de Tico Electronics

Descripción del proceso productivo

El proceso productivo general de la empresa consta de las siguientes etapas, las cuales se muestran en la Figura No. 6.



Fuente: Elaboración propia con información brindada por la empresa

Figura No. 6 Diagrama General del proceso productivo

Por otro lado, específicamente en la etapa de producción se procesa el ensamble de los motores HSTA y Spoiler, las cuales pasan por 3 diferentes centros de trabajo. Es importante mencionar que, muchas de los procesos realizados en ambos motores, requieren del mismo procedimiento, por lo que se les suele llamar como operaciones compartidas. A continuación, se presentan de manera general los diferentes procesos que conllevan ambos motores.

Centro de trabajo 1 (SPOILER y HSTA): Inicialmente se ensambla el rotor dentro del estator para así poder alinear el resolver y luego instalar el freno del motor. Finalmente se cortan los cables del resolver a las medidas pertinentes, se realizan algunas pruebas eléctricas y se sumergen dentro de la combinación de diferentes químicos a alta temperatura por un periodo determinado de tiempo para completar la operación llamada Etching³.

Centro de trabajo 2 (SPOILER): Se da la instalación de un aislante termo encogible en el ensamble para luego limpiar e instalar un componente llamado caja de unión, seguidamente se agrega otro componente en el cableado de la 30-B-1 llamado solder sleeve. Por otra parte, se le aplica un tipo de químico para sellar los aislantes termo encogibles, el cual tiene que pasar por un proceso de curado tanto al aire libre como en un horno industrial para que el químico adquiera la composición deseada. Una vez finalizado este proceso se ensambla la caja de unión.

³ Proceso donde el cableado del resolver pasa por diferentes químicos para generar un recubrimiento protector

Centro de trabajo 3 (SPOILER): Se preparan e instalan todos los conectores que lleva el cableado para así proceder a realizar diferentes pruebas eléctricas preliminares y conocer si el ensamble se encuentra dentro de los parámetros. Además, se aplica químico a los conectores, se cura a temperatura ambiente para luego pasar al siguiente centro de trabajo, se instala un soporte para los cables y una cobertura para el freno.

Centro de trabajo 4 (SPOILER): Finalmente se instalan algunos aislantes termo encogibles, se aplica nuevamente el químico para sellar los aislantes termo encogibles con sus respectivos tiempos de curado para posteriormente realizar las pruebas eléctricas finales. Así mismo se coloca al ensamble el último componente conocido como lockwire⁴ para así pasar a una inspección final y luego el empaque del ensamble.

Centro de trabajo 2 (HSTA): Se da la instalación de un aislante termo encogible en el ensamble para luego limpiar e instalar un componente llamado caja de bastidor, seguidamente se instala los componentes llamados cable de bloqueo, cable de freno y tapa para luego agregar al cableado de la 30-B-1 unas abrazaderas conocidas como solder sleeve. Posteriormente se le aplica un tipo de químico para sellar los aislantes termo encogibles, el cual tiene que pasar por un proceso de curado tanto al aire libre como en un horno industrial para que el químico adquiera la composición deseada, y una vez finalizado este proceso, se preparan los conectores a instalar.

Centro de trabajo 3 (HSTA): Inicialmente se cierra la caja del bastidor y se procede a realizar diferentes pruebas eléctricas preliminares para conocer si el ensamble se encuentra dentro de los parámetros deseados. Además se aplica químico a los conectores, se cura a temperatura ambiente y se realiza una rápida inspección visual del curado. Seguidamente aplica otro químico a los aislantes termo encogibles y se procede a instalar los conectores, cables de bloqueo, placas de recubrimiento, coberturas de freno y se realizan las pruebas eléctricas finales.

Centro de trabajo 4 (HSTA): Finalmente se instalan los lockwire⁴ a los tornillos restantes y se concluye con una inspección final y el empaque del motor.

⁴ Enrollado de cable metálico sujetado en los tornillos de los motores HSTA y Spoiler para evitar que se aflojen

A continuación, se muestra cómo se ven ambos motores una vez finalizados los procesos anteriormente explicados.



Fuente: Brindado por la empresa Tico Electronics,

Figura No. 7 Ilustración de un motor HSTA



Fuente: Brindado por la empresa Tico Electronics,

Figura No. 8 Ilustración de un motor Spoiler

C. Justificación del proyecto

Desde el 6 de enero hasta el 3 de Abril del 2020, la línea de producción encargada del ensamble de los motores HSTA y Spoiler no ha logrado alcanzar una tasa de producción estable con la que logre cumplir con la demanda requerida por el cliente. Durante dicho periodo se solicitó la elaboración de 20 motores Spoiler y 15 motores HSTA semanalmente; en ese lapso no se logró alcanzar la meta indicada.

Así mismo, respecto a la totalidad de los motores requeridos para este periodo, se deberían de haber producido 165 motores HSTA y 220 Spoiler, mientras que solo se produjeron 118 y 195 respectivamente, obteniendo así un porcentaje de cumplimiento de la demanda del 71.51% para los HSTA y 88.63% para los Spoiler, siendo estos porcentajes deficientes considerando los beneficios que se han dejado de percibir. Para observar los cálculos diríjase al apéndice A.

El incumplimiento de la tasa de producción se puede traducir en dos principales efectos, siendo estos un costo de oportunidad equivalente a \$82,716.99 y un segundo efecto de pagos por horas extras trabajadas equivalentes a \$1,003.88, en ambos casos para las 13 semanas que abarca el estudio. Consecuentemente, Tico Electronics requiere implementar soluciones que mejoren y regulen la tasa de producción de ambos motores de acuerdo con la demanda establecida, la cual en la actualidad puede variar entre 25, 30 y 35 motores semanales.

C. Objetivos del proyecto

Objetivo General

Elaborar propuestas de solución que permitan el aumento en la tasa de cumplimiento de pedidos de los motores HSTA y Spoiler en al menos un 5% para el I semestre del 2020.

Objetivos específicos

- Definir la problemática y los efectos generados por el incumplimiento en la tasa de producción de los motores HSTA y Spoiler.
- Caracterizar el proceso productivo, con el fin de encontrar las variables que lo afectan significativamente.

- Generar propuestas de solución que aseguren el cumplimiento de la demanda semanal de los motores Spoiler y HSTA en la línea North Main
- Establecer los parámetros necesarios para el control de la producción de motores Spoiler y HSTA en la línea North Main mediante indicadores.

D. Alcances y limitaciones

Alcances

Además de los procesos realizados dentro de los 3 diferentes centros de trabajo de la celda en estudio, los motores también requieren de otros 3 procesos anteriores donde se elaboran algunos de los componentes que se utilizan en su ensamble final, sin embargo, estos no serán considerados en el desarrollo de este proyecto.

Así mismo, es importante mencionar que este proyecto se llevará a cabo únicamente hasta el desarrollo de las propuestas de solución, excluyendo la implementación de las mismas, pero estableciendo un plan de acción para llevar a cabo la ejecución de estas.

Por otra parte, es importante mencionar que el proyecto tendrá un enfoque en las áreas de ingeniería relacionado con la gestión y mejoramiento de procesos, control de la producción y análisis económico, las cuales serán llevadas a cabo durante el primer semestre del 2020.

Limitaciones

Tico Electronics establece que solo tiene a disposición 4 operarios para trabajar en esa celda. Limitando así la distribución de los tiempos a dichos 4 operarios.

Por otro lado, la empresa cuenta con sistema para balancear las líneas de producción en el cual establece que cada centro de trabajo debe estar asignado con tiempos no mayores al 90% del takt time ^[5] estimado para dicha celda, limitando nuevamente la distribución de los tiempos en los centros de trabajo.

5. Velocidad a la que debe ser completada una pieza para poder cumplir con la demanda en el periodo de tiempo disponible.

Debido a los efectos generados por el Covid-19, la recopilación de datos se vió limitada únicamente a las 13 semanas mencionadas anteriormente, ya que a partir de este punto la producción fue detenida durante diferentes ocasiones. Cabe destacar que esta situación también sucedió durante las semanas 10 y 11, consecuentemente estas no serán abarcadas en el estudio.

II. MARCO TEÓRICO

En el capítulo de marco teórico se desarrolla una revisión de la literatura utilizada en el proyecto con la que se pretende explicar aspectos de la industria donde se realiza el estudio, aspectos metodológicos y herramientas utilizadas en la búsqueda de alcanzar los objetivos planteados. A continuación, se muestra un esquema con los principales conceptos que serán abarcados en este capítulo.

1. Información general

Tico Electronics es parte de la industria aeroespacial, siendo estas las encargadas de fabricar, diseñar, mantener y comercializar aeronaves, tales como aviones, vehículos aéreos no tripulados, cohetes, misiles, así como equipos dedicados a sistemas de navegación y propulsión entre otros.

Motores referentes a la dirección del avión

HSTA: “Son los motores que movilizan las placas en la parte trasera del avión, específicamente en la cola, y son los encargados modificar el flujo del aire horizontalmente y así dar dirección al avión”. (Salazar. J, comunicación personal, 12 de agosto del 2019)

Spoiler: Son los motores que movilizan las placas montadas en el extradós, es decir en la cara superior de las alas de un avión, que pueden desplegarse hacia arriba modificando el flujo del aire y así la dirección vertical del avión. (Salazar. J, comunicación personal, 12 de agosto del 2019)

2. Aspectos metodológicos

La metodología que se utilizará en este proyecto es DMAIC, acrónimo de las etapas Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar donde según Jackson (2015) se puede describir de la siguiente manera.

- Definir: Todos los miembros del equipo plantean y entienden claramente el problema, observando las características críticas de calidad, comprendiendo las profundidades del problema, determinando la variable que lo rodean y estableciendo objetivos para el estudio.
- Medir: El equipo debe medir las propiedades afectadas por las fuentes de variación y recopilar datos para analizar

- **Analizar:** El equipo hace una lluvia de ideas sobre las posibles causas de variación y explica esa varianza con técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales y otras herramientas analíticas. Determinan cómo esta variación afecta el proceso y revelan los problemas asociados.
- **Mejorar:** Las causas de la varianza encontradas en la fase de análisis se reducirán o eliminarán, esto puede requerir cualquier número de cambios dentro del proceso de estadística, incluyendo nueva capacitación, metodología, tecnología, rediseño del proceso, un cambio en el material o un rediseño del producto.
- **Controlar:** Esta fase es la protección contra la variación asignable que vuelve a surgir en el proceso, al monitorear y verificar que el proceso se mantenga en la meta especificada.

3. Herramientas utilizadas

3.1 Conceptos utilizados

Manufactura Esbelta

Se define como una metodología que tiene dentro de sus principios la utilización de varias herramientas para lograr la eliminación de mudas (desperdicio) que afectan el flujo en los procesos productivos y aumentar de esta manera la eficiencia y productividad de estos.

El objetivo de la manufactura esbelta es implementar un concepto de mejoramiento continuo que permita reducir los costos, mejorar y renovar los procesos y eliminar los desperdicios; en busca de incrementar la satisfacción del cliente y generar mayor margen de utilidad a las compañías, proporcionando herramientas para enfrentar un mercado global que exige productos de excelente calidad, entregas rápidas a muy bajos precios y en cantidades requeridas. (Pedraza, 2010)

3.1.1 Los principios del pensamiento esbelto

Según (Womack & Jones, 2003) se definen cinco principios básicos para el pensamiento esbelto:

1. Definir el valor desde el punto de vista del cliente: Se deben satisfacer los requerimientos del cliente por lo que el servicio que se brinda debe cumplir con las necesidades del cliente en el momento específico a un precio específico.

2. Identificar la corriente de valor: Eliminación de todo tipo de mudas mediante la separación de todas las actividades que no agreguen valor al producto.
3. Flujo continuo: Lograr que el flujo productivo sea continuo y que todas las operaciones vayan agregado valor conforme el avance del producto, iniciando como materia prima y terminando en el cliente final.
4. Sistema de producción: El sistema debe tener la capacidad de producir con base en la demanda del cliente y no fundamentarse en producción basada en pronósticos. A esto se le llama un sistema “pull”.
5. Perseguir la perfección: Una vez que una empresa consigue los primeros cuatro pasos, se vuelve un proceso de mejora continua donde se persigue la perfección generando cada vez mayor eficiencia y productividad en los procesos.

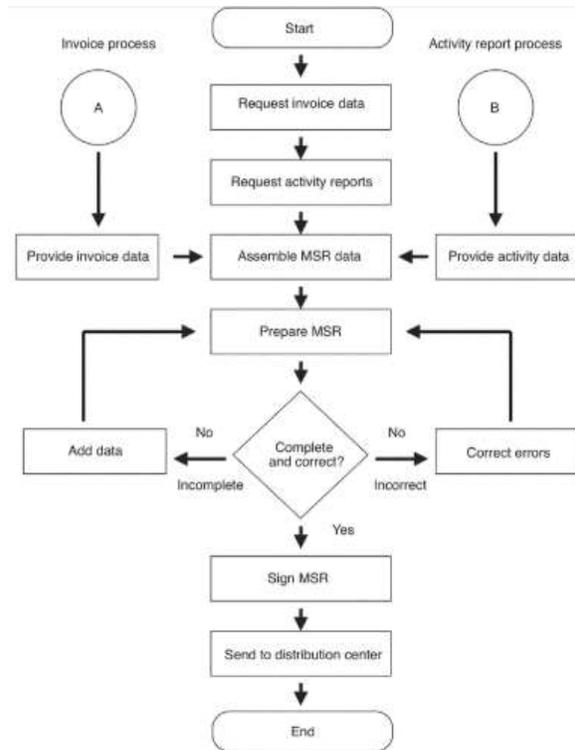
3.2 Herramientas para el diagnóstico y análisis del problema

3.2.1 Gráficos de barra

Un gráfico de barra deplega información en forma de barra mostrando el número de unidades, es decir la frecuencia en cada categoría según lo descrito por Westcott, Russell T. Duffy, Grace L.. (2015).

3.2.2 Diagrama de flujo

Según Rose, Kenneth H. (2014). un diagrama de flujo identifica la secuencia de los eventos en un proceso. Más allá de eso, permite, incluso las fuerzas, la identificación de los elementos a veces oscuros en un proceso



Fuente: Rose, Kenneth H. (2014).

Figura No. 9 Ejemplo de diagrama de flujo

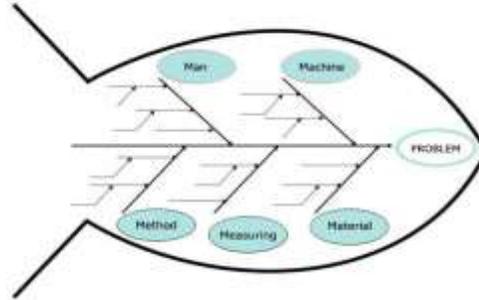
3.2.3 Lluvia de ideas

Es una técnica muy utilizada en el campo de ingeniería industrial por la razón de que esta es aplicada a las personas relacionadas directamente en el proceso y que cuentan con una experiencia considerable para entender el porqué y el cómo de las actividades que componen el proceso.

Esta herramienta es aplicada por el analista a las personas que conocen el proceso con la intención de saber cuáles son las causas que lo afectan, para posteriormente encontrar donde radica el problema principal que está afectando la eficacia y eficiencia del proceso.

3.2.4 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa se usa para identificar, explorar y mostrar las posibles causas de un problema o evento. Según Ruggeri, Kenett & Faltin (2007) “Un diagrama típico tendrá cuatro a seis ramas principales para causas que afectan a un tipo de evento. Las clasificaciones tradicionales de estas ramas son cinco M: mano de obra, máquinas, materiales, medidas y métodos.”



Fuente: (Ruggeri, Kenett & Faltin, 2007)

Figura No. 10 Ejemplo de diagrama de Ishikawa

3.2.5 Técnica Multivoto

Basándose en el concepto descrito por (Freivalds & W.Niebel, 2014), esta herramienta consiste en determinar las posibles causas de la principal problemática dentro del proceso, con el fin de darle una calificación a cada una de ellas para concentrarse en resolver las que tuvieron mayor calificación, estas posibles causas pueden ser propuestas ya sea por trabajadores de la empresa o por los analistas que realizan el estudio.

3.2.6 Herramienta SIPOC:

Según Kubiak, T. M. Benbow y Donald W (2017) “SIPOC por sus siglas en ingles es una herramienta útil en el estudio de procesos, los acrónimos están dados por los siguientes elementos claves del proceso”

- Suppliers: Son los proveedores internos o externos encargados de brindar los recursos, materiales, conocimiento o servicios..
- Inputs: Son las entradas, es decir recursos, materiales, servicios que alimentan el proceso.
- Process: Consiste en la serie de pasos necesarios para realizar el proceso en estudio.
- Outputs: Son las salidas o resultados que se obtienen una vez que los entradas son consumidas en el proceso..
- Customers: Hace referencia a la organización o usuarios que reciben el producto final o salidas del proceso.

3.2.7 Stakeholders analysis:

Según Kurian, George Thomas (2013). “La herramienta de análisis de interesados estudia a todos aquellos que tienen interés en el desarrollo del proyecto y, por lo tanto, en sus decisiones de gestión del mismo.”

3.2.8 Estudio de tiempos

Según (W.Niebel & Freivalds, 2009) el estudio de tiempos es un procedimiento para obtener los tiempos estándar de operación. Para esto se utiliza una plantilla según las conveniencias y especificaciones que la persona que va a realizar el estudio considere importante.

Para realizar un estudio de tiempos es importante la división de la operación, estos deben separarse en divisiones tan finitas como sea posible, pero no tan pequeñas que se sacrifique la exactitud de la operación.

Los estudios de tiempos involucran muestras pequeñas menores a 30 datos de una población, por lo tanto, se recolectan los tiempos y según la siguiente fórmula.

$$N = \left(\frac{t_{\alpha/2} \times s}{K \times \bar{X}} \right)^2 \quad (1)$$

N=Tamaño de muestra

\bar{x} = Promedio

K=Precisión

S=Desviación estándar

T $\alpha/2$ =Nivel de confianza

De esta manera se puede identificar los tiempos que son más variables y obtener la cantidad de números necesarios para lograr lo esperado.

3.2.4.1 Tiempo estándar

El tiempo estándar es “el patrón que mide el tiempo requerido para terminar una unidad de trabajo, mediante el empleo de un método y equipo estándar, por un trabajador que posee la habilidad requerida, que desarrolla una velocidad normal que pueda mantener día tras día sin mostrar síntomas de fatiga”. (García, 1998)

Para el cálculo del tiempo estándar hay que tomar en cuenta el tiempo normal, el cual toma una calificación de desempeño de los operarios. El valor de desempeño se expresa como un decimal que se asigna al elemento observado C, la fórmula de tiempo normal es:

$$\text{Tiempo normal} = \text{Tiempo observado} * \frac{C}{100} \quad (5)$$

Por otra parte, ningún operario puede mantener un paso estándar toda la jornada de trabajo, lo que se conoce como suplementos u holguras. Existen tres clases de interrupciones. Las primeras son las personales que se dan al ir al baño o tomar agua, la segunda es la fatiga que afecta en cualquier puesto de trabajo y la tercera son las interrupciones de las personas en su entorno o alguna máquina que se descompone. (Niebel & Freivalds, 2009).

Una vez calculado el tiempo normal y las holguras, el tiempo estándar se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo Estándar} = \text{Tiempo Normal} + (\text{tiempo normal} * \text{holguras}) \quad (6)$$

3.2.4.2 Tiempo de ciclo

Es el tiempo que el producto dura dentro del proceso productivo. Este incluye tiempos de máquina, demoras, tiempos improductivos y tiempo ocioso. El inverso de este indica la capacidad de la línea de producción. (Albert Suñé Torrents, 2004)

3.2.4.3 “Touch time” o tiempo de manipulación

Se refiere al tiempo que el producto necesitó por parte del operario para ser finalizado. Este tiempo incluye transportes y tiempos improductivos.

3.2.4.4 Tiempo disponible de operación

Es el tiempo total efectivo al día que tiene una empresa para realizar la producción estimada en una jornada laboral (Heizer y Render, 2014). El cálculo del tiempo disponible es las horas de la jornada de trabajo menos todos los tiempos no productivos. Algunos tiempos no productivos son: reuniones programadas, el almuerzo, el café, el desayuno y los ejercicios de estiramiento.

$$\textit{Tiempo disponible} = \textit{Jornada de trabajo} - \sum \textit{Tiempos no productivos} \quad (2)$$

3.2.9 Estudio de capacidad

Es un estudio que se realiza para evaluar el funcionamiento del proceso y de esta manera determinar los siguientes parámetros:

3.2.5.1 Capacidad de diseño

Es la mayor tasa de producción que se puede obtener en forma razonable dadas las limitaciones del sistema. (Macías, 2011)

$$\textit{Capacidad de diseñ} = \frac{\textit{Horas mensuales disponibles de trabajo}}{\textit{Horas necesarias para realizar una unidad}}$$

3.3 Herramientas para el diseño de propuestas de solución

3.3.1 Balanceo de líneas

El balance de líneas de producción consiste en distribuir físicamente las tareas o procesos individuales entre estaciones o celdas de trabajo, con el objetivo de que cada estación esté trabajando continuamente. Baquero, (n.d)

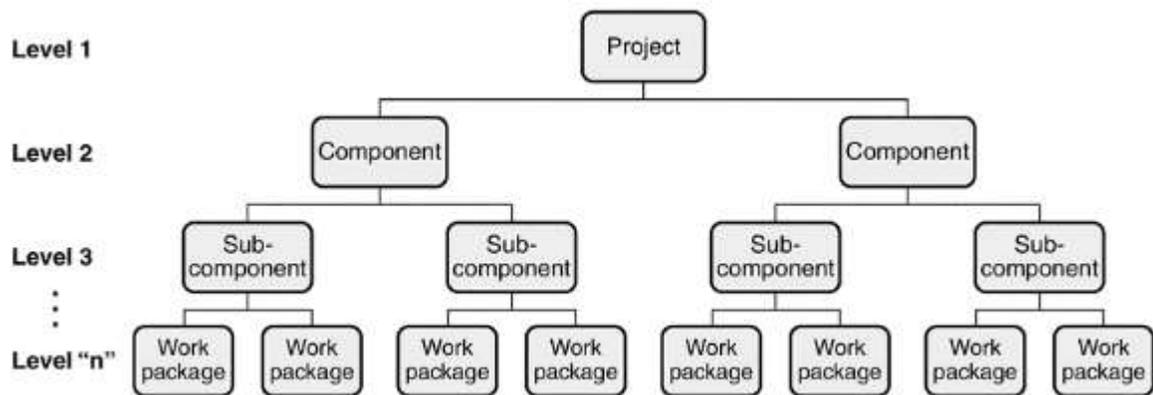
Según Baquero (n.d) su objetivo es:

- Balancear la salida de cada estación de trabajo
- Reducir los desequilibrios entre máquinas o personal, al tiempo que se obtiene la producción deseada de la línea
- Crear un flujo suave y continuo sobre la línea de producción.
- Mínimo de tiempo ocioso entre cada estación.
- Maximizar la eficacia.
- Minimizar el número de las estaciones de trabajo.

- Asignar tareas individuales a estaciones de trabajo tal que se optimice una cierta medida de desempeño definida para tal fin.
- Existe un balance perfecto en una línea de producción, cuando todas sus estaciones de trabajo tienen la misma cantidad de labor y el producto fluye sin retrasos.

3.3.2 Estructura de desglose de trabajo

Según Kubiak, T. M. Benbow, Donald W.. (2017) Una estructura de desglose del trabajo es una descomposición jerárquica del contenido del trabajo para un proyecto determinado. La WBS le permite al gerente del proyecto dividir sistemáticamente el trabajo en tamaños más pequeños y manejables que se pueden planificar, ejecutar y rastrear de manera más eficiente.

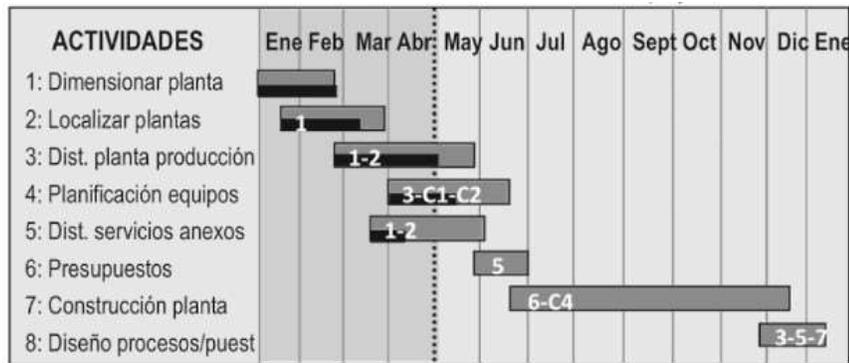


Fuente: Kubiak, T. M. Benbow, Donald W.. (2017)

Figura No. 11 Ejemplo de estructura de desglose de trabajo

3.3.3 Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt consiste en una representación gráfica del tiempo establecido para la realización de una tarea. Esta herramienta presenta dos ejes el horizontal representa la unidad de tiempo elegida y el eje vertical indica las actividades a realizar (Díaz L. F., 2005). En la Figura No. 8 se presenta un ejemplo donde se observa que el tiempo para completar las actividades es de aproximadamente un año.



Fuente: (Arbós, 2012)

Figura No. 12 Ejemplo de diagrama de Gantt

3.3.4 RACI

Según Kubiak, T. M. Benbow, Donald W.. (2017) RACI significa responsable, aprobador, consultado, informado y es una herramienta para equilibrar roles y responsabilidades en Lean Six Sigma. En detalle el significado del acrónimo:

Responsable: Individuos que participan activamente en una actividad. Tenga en cuenta que se puede retener a más de un individuo a la vez responsable

Aprobador. El individuo en última instancia responsable de los resultados. Solo un individuo puede ser responsable a la vez

Consultado. Individuos que deben ser consultados antes de tomar una decisión hecho. A veces esto aparece como consulta o consejero.

Informado. Personas que deben ser informadas sobre una decisión porque están afectadas. Estas personas no necesitan participar en el proceso de toma de decisiones.

3.3.5 Análisis modal de fallos y Efectos

Según Kubiak, T. M. Benbow, Donald W.. (2017) el análisis modal de fallos y efectos es una herramienta de gerencia basada en la prevención de riesgos que enfoca a los usuarios o equipos sistemáticamente en:

- Identificar y anticipar los fallos potenciales
- identificar las causas potenciales de los fallos
- Priorizar las causas
- Tomar acciones para reducir, mitigar o eliminar fallos

Initial development of the FMEA									Improvement activities		Post-improvement activities				
Process step/ input	Potential failure mode	Potential failure effects	SEV	Potential causes	OCC	Current controls	DET	RPN	Actions recommended	Resp	Actions taken	SEV	OCC	DET	RPN
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			

DET = Detection
 OCC = Occurrence
 PFMEA = Process failure mode and effects analysis
 Resp = Responsible
 RPN = Risk priority number
 SEV = Severity

Fuente: Kubiak, T. M. Benbow, Donald W. (2017)

Figura No. 13 Ejemplo de herramienta AMFE

III. METODOLOGÍA

Para el presente proyecto se determinó la metodología DMAIC como la elegida la cual presenta un procedimiento estructurado de cinco pasos para la solución de problemas, ampliamente usado en el mejoramiento de los procesos. A continuación, se va a detallar los diferentes pasos en los que se incurrió para realizar el estudio:

1. Definir

En esta primera etapa, se realizará una descripción de la principal problemática que aqueja la línea de producción North Main en la celda de manufactura de los motores HSTA y Spoiler y los principales efectos relacionadas a dicha problemática. Así mismo se presentarán algunos aspectos generales del proceso de elaboración de los mismo y quienes son los involucrados en el desarrollo del proyecto.

2. Medir

Con el propósito de conocer la situación actual de la empresa y obtener datos del comportamiento actual de la línea de producción, se caracterizará el proceso, identificando con un mejor detalle todos los aspectos relevantes relacionados con la elaboración de los motores. Además, se cuantificará el impacto asociado con el no cumplimiento de la tasa de producción necesaria para satisfacer la demanda del cliente.

3. Analizar

Una vez establecido el flujo normal de la celda de producción y cuantificado el impacto de la problemática hacia la empresa, se procederá a determinar el origen de las principales causas con dicha problemática, estableciendo así una visión clara de cuáles son los puntos prioritarios por mejorar.

4. Mejorar

Se generarán propuestas de solución al problema planteado, así como un plan de implementación para las mismas, donde será considerado un desglose de la estructura de trabajo, un calendario de las actividades a realizar, la asignación de las tareas, un análisis de gestión de riesgos, así como la validación económica de las propuestas.

5. Controlar

Se establecerán parámetros de revisión de la línea tales como auditorías internas para asegurar el correcto procesamiento en los motores así como un estricto seguimiento respecto a la producción diaria y el control de estos mediante indicadores de productividad.

A continuación, se muestra un resumen de las etapas a través de un cuadro metodológico, relacionando cada una de estas con su objetivo específico.

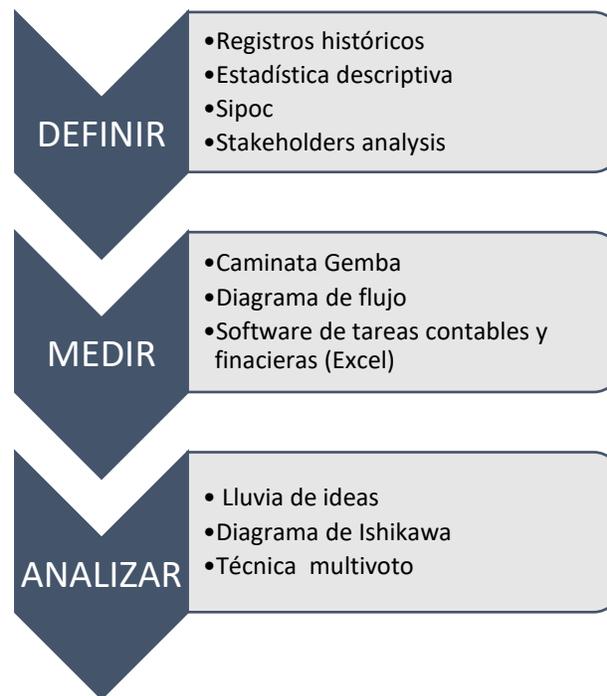
Cuadro No. 3 Cuadro metodológico

Etapa	Objetivo específico	Actividades	Herramientas	Resultado esperado
Definir	<ul style="list-style-type: none"> Definir la problemática y los efectos generados por el incumplimiento en la tasa de producción de los motores HSTA y Spoiler. 	<ul style="list-style-type: none"> Recopilar información acerca de la demanda y oferta de los motores Cuantificar el grado de cumplimiento de la demanda a lo largo del periodo en estudio Establecer los efectos generados por la problemática Definir las principales características del proyecto así como los involucrados en el desarrollo del mismo. 	<ul style="list-style-type: none"> Registros históricos Estadística descriptiva SIPOC Stakeholders analysis 	<ul style="list-style-type: none"> Diagnosticar promedio de cumplimiento de la demanda Conocer cuales son las implicaciones de no cumplir con la problemática Determinar el desglose del impacto económico percibido por la empresa Establecer toda la información relevante respecto a la iniciación del proyecto
Medir & Analizar	<ul style="list-style-type: none"> Caracterizar el proceso productivo, con el fin de encontrar las variables que lo afectan significativamente. 	<ul style="list-style-type: none"> Caracterizar el proceso productivo Verificar los tiempos los tiempos de producción por operación de ambos motores <ul style="list-style-type: none"> Calcular el desglose económico por costo de oportunidad Calcular los gastos incurridos por horas extras trabajadas Determinar las posibles causas que afectan la tasa de producción de los motores <ul style="list-style-type: none"> Priorizar las causas más significativas Analizar la relación que tienen estas causas con la problemática asociada 	<ul style="list-style-type: none"> Caminata Gemba Diagrama de flujo Software de tareas contables y financieras (Excel) Lluvia de ideas Diagrama de Ishikawa Técnica multivoto 	<ul style="list-style-type: none"> Identificar las tareas necesarias para elaborar ambos motores Conocer la secuencia lógica de actividades que comprende el proceso Conocer la capacidad de producción actual diariamente Determinar el origen de la problemática Establecer los causas críticas relacionadas a la problemática Determinar la distribución del impacto sobre la problemática según cada causa
Mejorar	<ul style="list-style-type: none"> Generar propuestas de solución que aseguren el cumplimiento de la demanda semanal de los motores Spoiler y HSTA en la línea North Main 	<ul style="list-style-type: none"> Distribuir los tiempos por centro de trabajo a un 90% del takt time de la celda de producción Dividir la implementación de las propuestas en fases y entregables Establecer las fechas en las que serán realizadas las actividades de la implementación de las soluciones Asignar los roles de trabajo según las actividades de implementación de soluciones Generar un análisis de riesgos 	<ul style="list-style-type: none"> Estadística descriptiva EDT Diagrama de Gantt Matriz Raci AMFE Software de tareas contables y financieras (Excel) 	<ul style="list-style-type: none"> Balancear los centros de trabajo de modo que alcance la meta de producción Comprender con claridad los pasos a seguir para implementar las propuestas de solución Limitar la realización de actividades a las fechas establecidas Establecer con claridad la función de los involucrados en las propuestas de solución Conocer como podrían fallar las propuestas de solución Determinar la rentabilidad económica de las propuestas establecidas
Controlar	<ul style="list-style-type: none"> Establecer los parámetros necesarios para el control de la producción de motores Spoiler y HSTA en la línea North Main mediante indicadores. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificación de unidades producidas semanalmente Verificación de procedimientos de ensamble 	<ul style="list-style-type: none"> Auditorías internas Gemba Boards 	<p>Mantener las operaciones de producción controladas de manera que se puedan elaborar 25, 30 o 35 motores semanales cuando así se desee</p>

Fuente: Elaboración propia.

IV. DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL

En la presente sección de diagnóstico se mostrará cómo está la línea de producción en la actualidad, indicando los procedimientos necesarios para el ensamble de ambos motores, además se establecerá y cuantificará la problemática relacionada con el incumplimiento de la demanda de motores, así como sus efectos más significativos, aspectos generales del proceso y quienes forman parte de los stakeholders. Por otro lado, se identificará el origen de las causas que afectan la problemática y se dará énfasis a solucionar las principales causas. A continuación, se muestran las herramientas y procedimientos a realizar para completar los siguientes pasos de la metodología.



Fuente: Elaboración propia,

Figura No. 14 Etapas del diagnóstico de la situación actual

Tomando como referencia la Figura No 14, se puede establecer el diagnóstico de la situación actual estará comprendido por 3 etapas. En la etapa de definir se determinará la problemática de la línea, así como los principales efectos mediante el uso de registros históricos, gráficos de barra y estadística descriptiva, además se establecerán aspectos generales sobre el proceso de elaboración de los motores, así como quienes son los interesados en el desarrollo de este proyecto. Por otra parte, en la etapa de medir, se caracterizará el proceso de producción de los motores HSTA y Spoiler, así como el impacto

que tienen los efectos asociados a la problemática descritos en la etapa anterior, esto se llevará a cabo mediante caminatas Gemba, Diagramas de flujo, y la herramienta Excel para el manejo y cálculos estadísticos. Finalmente, en la etapa de analizar se determinarán y priorizarán las causas relacionadas con los efectos de la problemática. Todo esto se realizará mediante una lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, técnica multivoto y la herramienta Excel para toma de tiempos y generación cálculos estadísticos. A continuación, se muestran las etapas anteriormente descritas.

A. Definir del problema

Como etapa inicial, se establece a través de registros históricos la problemática de la línea North Main en su área de ensamble de motores HSTA y Spoiler, en la cual, tomando como referencia el periodo comprendido desde el 6 de Enero hasta el 31 de Marzo, o como se muestra en el cuadro 4, desde semana 2 a 14, no ha tenido una tasa de producción suficiente en la mayoría de sus semanas para satisfacer la demanda de los clientes, la cual consiste en 15 motores HSTA y 20 Spoiler semanalmente. A continuación, se muestran la relación de Oferta vs Demanda para periodo de estudio.

Cuadro No. 4 Oferta vs Demanda de motores a lo largo del periodo en estudio

MOTORES →		HSTA		Spoiler	
Mes	Semana	Demanda	Oferta	Demanda	Oferta
ENERO	2	15	8	20	17
	3	15	10	20	15
	4	15	18	20	15
	5	15	8	20	20
FEBRERO	6	15	9	20	17
	7	15	9	20	20
	8	15	8	20	20
	9	15	14	20	20
MARZO	10	-	-	-	-
	11	-	-	-	-
	12	15	9	20	16
	13	15	11	20	15
	14	15	14	20	20
Total		165	118	220	195

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

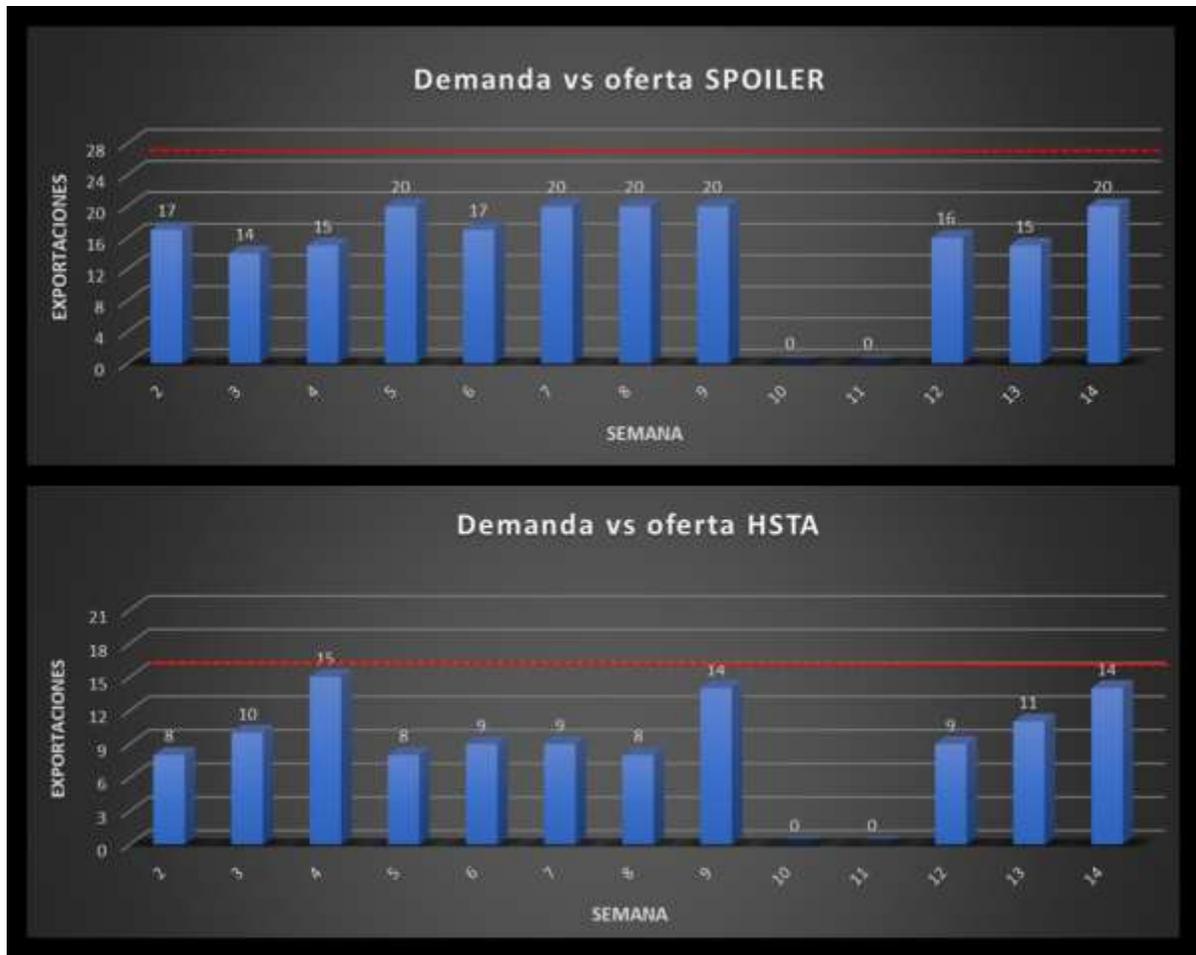
A través del cuadro No 4, se puede observar la demanda semanal del cliente por motor, así como la cantidad de motores que fueron producidos en dichas semanas, es importante mencionar que las semanas demarcadas con color rojo hacen referencia a las semanas en las que el cliente solicitó que se exportaran estrictamente los 15 motores HSTA, los 20 Spoiler o la exportación completa de ambos, y en las demás, no indicaron dicha restricción, así mismo, cabe destacar, que la línea North Main trabaja bajo una metodología donde el cliente semanalmente envía la cantidad ideal de motores que deberían ser producidos, sin embargo, por acuerdo entra ambas partes (Cliente - Tico Electronics), se aceptan exportaciones menores a lo requerido idealmente. A continuación, se muestra un resumen del cumplimiento de la demanda a lo largo del periodo en estudio. Es importante recalcar como se mencionó en el apartado de limitaciones, que las semanas 10 y 11 no forman parte del estudio.

Cuadro No. 5 Porcentaje de cumplimiento de la demanda a lo largo del periodo en estudio

Total de exportaciones teórico para los motores HSTA:	$11 * 15 = 165$
Total de exportaciones teórico para los motores Spoiler:	$11 * 20 = 220$
Total de exportaciones real para los motores HSTA:	118
Total de exportaciones real para los motores Spoiler:	195
Tasa de cumplimiento promedio de demandas para los motores HSTA:	$(118/165) * 100 = 71.51\%$
Tasa de cumplimiento promedio de demandas para los motores Spoiler:	$(195/220) * 100 = 88.63\%$

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Con base en el cuadro No 5, se puede observar que la tasa de cumplimiento de demanda para los motores HSTA fue de 71.51% y para los motores Spoiler de 88.63%. Por otro lado, para una mejor comprensión del comportamiento referente a la producción de motores, se generaron gráficos de barra ilustrando cuantos motores fueron ensamblados semanalmente.



Fuente: Elaboración propia con información brindada por la empresa

Figura No. 15 Oferta versus demanda de los motores Spoiler

Tomando como referencia la figura No 14, se puede observar que la producción semanal por motor presentó un comportamiento irregular a lo largo del periodo de estudio, variando en los motores HSTA desde las 8 hasta 15 unidades producidas semanalmente, mientras que, para los Spoiler, la cantidad de motores varió desde las 14 hasta 20 unidades producidas, traduciéndose esto directamente en el porcentaje de cumplimiento de demanda semanalmente. Cabe destacar, que la línea roja mostrada en ambos gráficos, corresponde a la demanda ideal del cliente por semana, es decir, 15 motores HSTA y 20 motores SPOILER.

Con base la problemática presentada anteriormente, se logró identificar dos principales efectos sobre la empresa, siendo estos un costo de oportunidad y la necesidad

de incurrir en horas extras para alcanzar la meta de producción semanal. A continuación, se explican ambos casos.

1. **Costo de oportunidad:** Después de analizar los registros históricos de exportaciones, desde el 6 de Enero hasta el 31 de Marzo se estimó que se han dejado de percibir alrededor de \$82,716.99 equivalentes a 72 motores por incumplimiento en la tasa de producción semanal. El desglose de estos costos se puede evidenciar en la siguiente etapa del diagnóstico. (Medición del impacto por incumplimiento de la tasa de producción y los efectos más representativos asociados).
2. **Horas extras:** Actualmente Tico Electronics trabaja únicamente sobre el turno diurno, abarcando este desde las 6:45 am hasta las 4:45 pm de lunes a jueves y el viernes de 6:45 am hasta las 2:45 pm. Por otro lado, la línea también trabaja los sábados cuando requieren aumentar o recuperar producción no cumplida en la jornada normal de trabajo, el horario de trabajo de este día también es de 6:45 am hasta las 2:45 pm.

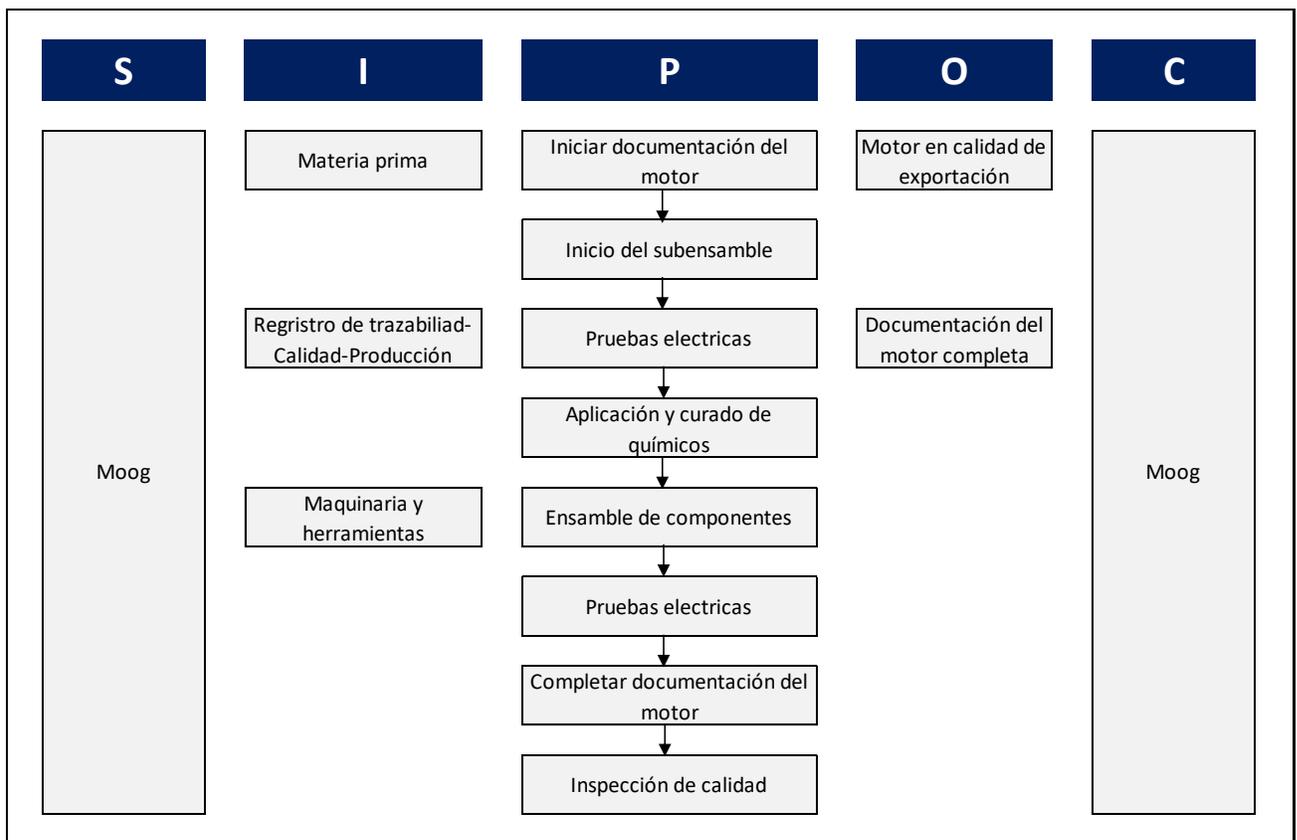
Actualmente cuando los clientes requieren que la cantidad de motores producidos para una semana alcance la demanda ideal, es decir 15 motores HSTA y 20 Spoiler, estos notifican a la línea North Main con anterioridad, consecuentemente, la línea solicita a los operarios trabajar horas extras para poder alcanzar así dicha meta de producción, ya que basado en la capacidad de producción observada a través del tiempo, no les es suficiente para poder ensamblar los 35 motores con solo el periodo regular de trabajo.

El pago de horas extras está establecido en 1.5 veces el salario normal por cada hora trabajada, y a lo largo de las 6 semanas en las que el cliente solicitó procurar exportar los 35 motores, se incurrió en un gasto de \$1003.88 por horas extras trabajadas. El desglose de estos costos se puede evidenciar en la siguiente etapa del diagnóstico. (Medición del impacto por incumplimiento de la tasa de producción y los efectos más representativos asociados). Cabe destacar que el monto establecido anteriormente incluye las respectivas cargas sociales.

B. Análisis de involucrados y aspectos generales del proceso

Seguidamente como parte de la etapa definir, se desarrolla la herramienta SIPOC con el fin establecer un visión general del proceso de elaboración los motores HSTA y Spoiler, así como para mostrar lo que el cliente establece como el flujo normal de trabajo y algunos aspectos importantes que se deben conocer.

Cuadro No. 6 Análisis SIPOC para la elaboración de los motores HSTA y SPOILER



Fuente: Elaboración propia con información brindada por la empresa

A través del cuadro No 6, se establece a Moog como el único proveedor del proceso, el cual proporciona todas las entradas y se encarga realizar toda la gestión para asegurar el aprovisionamiento de las mismas, siendo estas materiales primas, componentes y partes necesarias para el proceso de ensamble de los motores, Moog, así mismo proporciona todas las máquinas y herramientas necesarias en todo el proceso productivo, así como un registro de producción donde se indica toda la trazabilidad y parámetros de aceptación del producto en sí.

Seguidamente, una vez que todos los insumos se encuentran dentro del área de trabajo, se inicia el proceso productivo, en el cual se procede a ensamblar las partes y componentes requeridos, así mismo en el transcurso de estas operaciones se realizan pruebas eléctricas, aplicación de químicos, ciclos de curado en hornos industriales, inspecciones de calidad, las cuales son verificadas en un registro con los criterios mínimos de aceptación. Una vez finalizado todo el proceso productivo, se esperan únicamente dos salidas, motores en calidad de exportación y el registro asociado a estos completamente lleno y firmado por los operarios de todos los centros de trabajo.

Por otra parte, con el fin de identificar quienes son los interesados en el desarrollo de este proyecto se procede a realizar el análisis de stakeholders, donde se describirá el nivel de interés el desarrollo del proyecto, cuales son sus expectativas e influencia sobre este.

Cuadro No. 7 Análisis de stakeholders

Stakeholder	Interés (1-5)	Expectativa	Influencia
Gerencia	5	Cumplimiento de un 100% de la demanda, reducción del pago de horas.	Aprobación del desarrollo del proyecto
Ingeniero de la línea	5	Mejora del flujo de trabajo, mejor aprovechamiento de los recursos, aumento de la capacidad de producción, eliminar la necesidad de trabajar horas extras	Análisis y aprobación de todo el planteamiento y desarrollo del proyecto.
Moog (Cliente)	5	Cumplimiento de un 100% de la demanda	Apoyo en la realización de las propuestas
Operarios	5	Distribución equitativa de la carga de trabajo por centro de trabajo.	Sin su colaboración no sería posible realizar las propuestas
Ingeniero Junior de la línea	5	Eliminar los efectos de costos de oportunidad y pago de horas extras,	Elaboración de principio a fin de las propuestas y plan de implementación de estas

C. Medición del impacto a la empresa por incumplimiento de demanda

En esta etapa, se establecerán las principales características del proceso, logrando comprender así el funcionamiento lógico de la celda de producción en la que se elaboran ambos motores. Además, se detallará la estimación del impacto económico percibido por Tico Electronics debido al incumplimiento de la demanda de motores solicitada por el cliente.

C.1 Caracterización del proceso

A través de recorridos por la celda de producción durante repetidas ocasiones, se observó que ambos motores pasan por 4 centros de trabajo, en los cuales, como se mencionó anteriormente, se realizan tanto operaciones que solo se necesitan en un motor como algunas operaciones compartidas, esto por la similitud de diseño que tiene ambos motores, consecuentemente, para una mejor comprensión del ensamble de estos, se mostrarán tanto las operaciones correspondientes a cada uno de los motores, como las que son compartidas. Cabe destacar que los 4 centros de trabajo también son compartidos por ambos motores, y que la programación con la que estos se elaboran sigue el concepto de producir un tipo de unidad y al finalizar el pedido, producir el pedido del otro tipo de unidad.

Cuadro No. 8 Operaciones compartidas por ambos motores

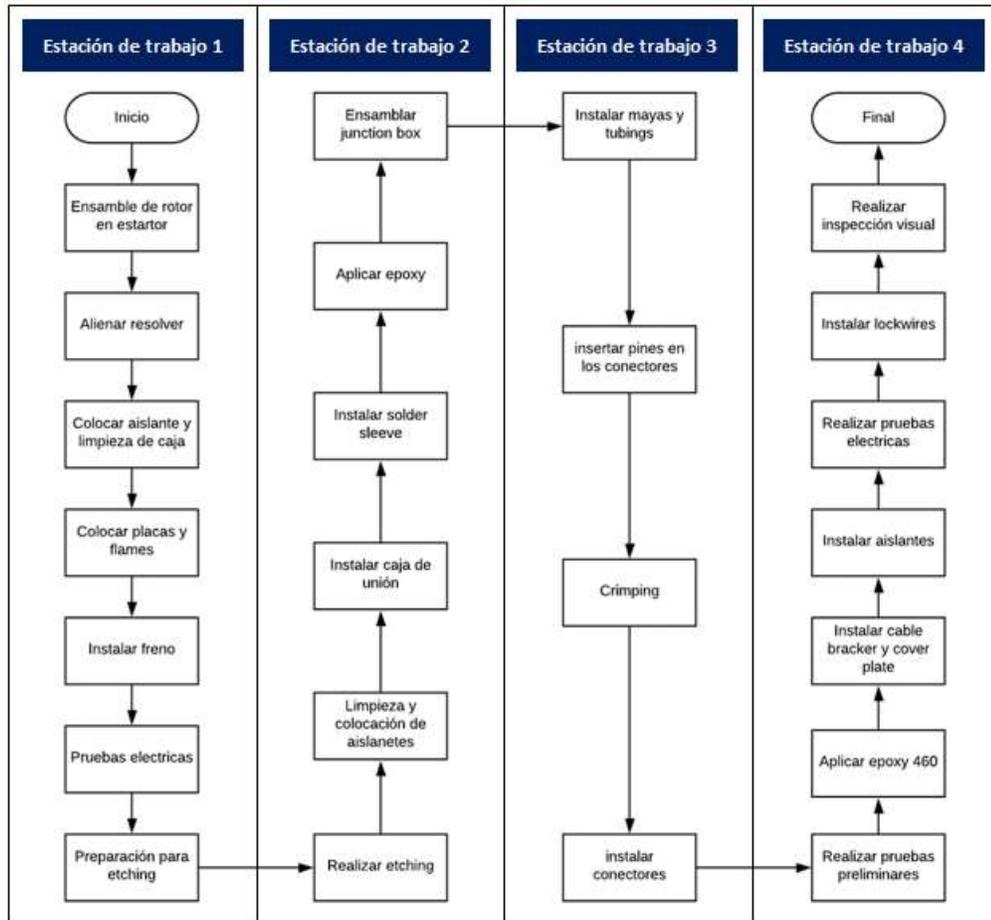
No	Operación	Motor	
		SPOILER	HSTA
1	Ensamblar rotor en el estator	X	X
2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	X	X
3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	X	X
4	Colocar placa y flanges	X	X
5	Instalar el freno	X	X
6	Pruebas electricas	X	X
7	Preparación para "etching"	X	X
8	Realizar "Etching"	X	X
9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	X	X
10	Instalar la caja del bastidor		X
11	Instalar cable de bloqueo a caja del bastidor		X
12	Instalar el cable de freno y tapa		X
13	Instalar caja de unión	X	
14	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) SPOILER	X	
15	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) HSTA		X

Continuación Cuadro No.8 Operaciones compartidas por ambos motores

No	Operación	Motor	
		SPOILER	HSTA
16	Aplicar Epoxy (STADHES019)	X	X
17	Curar epoxy (STADHES019)	X	X
18	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	X	X
19	Sand blast conectores		X
20	Ensamblar la caja de unión (junction box)	X	
21	Instalar mayas y tubings de conectores	X	
22	Realizar "crimping"	X	X
23	Instalar los pines en el conector	X	X
24	Instalar conectores	X	
25	Cerrar caja de ensamble		X
26	Realizar pruebas preliminares	X	X
27	Pre calentar moldes Epoxy ES-460		X
28	Aplicar Epoxy ES-460	X	X
29	Curar temperatura ambiente Epoxy ES-460	X	X
30	Instalar soporte del cable (cable bracket) y cobertura del freno (brake cover)	X	
31	Instalar aislante termo-encogible y STADHES019	X	
32	Curar a 95°C Epoxy ES-460 y ESTADHES019	X	
33	Curar 95°C Epoxy ES-460		X
34	Dejar enfriar el ensamble	X	X
35	Quitar los moldes para Epoxy e inspección visual		X
36	Aplicar químico "sealant"		X
37	Instalar conectores al conector box		X
38	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los conectores		X
39	Instalar placa de recubrimiento (Cover Plate) y cobertura del freno (Cable bracket)		X
40	Curar a 95°C Sealant		X
41	Dejar enfriar a temperatura ambiente Sealant		X
42	Realizar pruebas eléctricas	X	X
43	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los tornillos restantes		X
44	Aplicar sealant		X
45	Instalar cables de bloqueo (lockwire)	X	
46	Relizar inspección visual	X	X
47	Empacar el ensamble	X	X

Fuente: Elaboración propia mediante la técnica Caminata Gemba

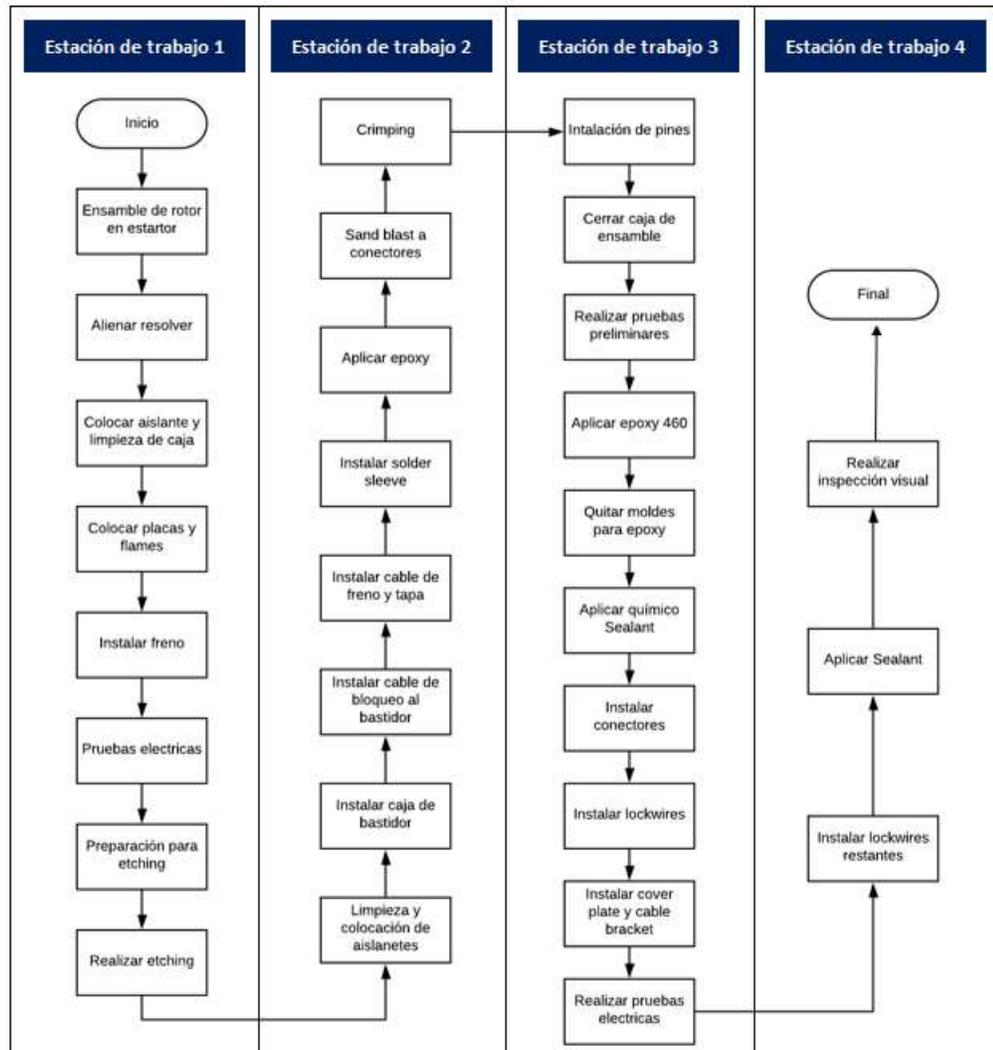
A través el cuadro No 8, se puede establecer que ambos motores requieren de 21 operaciones completamente iguales, por otro lado, los Spoiler requieren de 9 operaciones extras a parte de las 21 compartidas, y los HSTA de 17 operaciones extras a parte de las 21 compartidas. Seguidamente, para establecer el flujo y distribución de operaciones a lo largo de los 3 centros de trabajo, se realizaron los diagramas de flujo correspondientes a ambos motores.



Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la empresa

Figura No. 16 Diagrama de flujo de los motores Spoiler

Tras analizar el diagrama de flujo mostrado en la figura No 16 se puede observar que la totalidad del proceso está compuesto por 30 operaciones tal y como fue mencionado anteriormente, de las cuales 3 de estas están distribuidas en tareas de curado de químicos a través del uso de hornos industriales y curados al aire libre, mientras que las demás están subdivididas dentro de la celda, con 7 operaciones realizadas en el centro de trabajo 1, 6 en el centro de trabajo 2, 4 en el centro de trabajo 3 y las últimas 7 en el centro número 4. Seguidamente, se realizará el mismo análisis para el motor HSTA. Con base en los datos presentados anteriormente, se logra identificar que la cantidad de operaciones asignadas a los operarios de los centros de trabajo 1, 2 y 4 son muy similares, caso contrario para el operario del centro de trabajo 3 que difiere respecto estas cantidades al realizar menos operaciones.



Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la empresa

Figura No. 17 Diagrama de flujo de los motores HSTA

Con base en la figura No. 17 se puede observar que la totalidad del proceso está compuesto por 38 operaciones como fue mencionado anteriormente, de las cuales 4 de estas están distribuidas en tareas de curado de químicos a través del uso de hornos industriales y al aire libre, mientras que las demás están subdivididas dentro de la celda con 8 operaciones realizadas en el centro de trabajo 1, 8 en el centro de trabajo 2, 10 operaciones en el centro de trabajo 3 y las últimas 3 en el centro número 4. Con base en la distribución mencionada anteriormente, se logra identificar un sobre cargo de actividades con respecto al operario encargado del centro de trabajo 3, mientras que el operario encargado del centro de trabajo 4 realiza muy pocas. Por otra parte, el centro de trabajo 1 y 2 se encuentra equiparado respecto a la cantidad de operaciones que realizan.

C.2 Estimación de costos por efectos generados

Con el fin de tener una mejor visión de los efectos asociados a la problemática, se procede a generar un desglose del impacto económico que, atribuido a la empresa, tanto por el pago de horas extras, como por el costo de oportunidad percibido al no producir la cantidad de motores que el cliente requiere semanalmente.

B.2.1 Pago de horas extras

Como se mencionó anteriormente, a lo largo del periodo en estudio, fue requerido trabajar horas extras en 6 semanas, mismas en las que el cliente requería el cumplimiento de exportación de la cantidad de motores demandada. A continuación, se muestra la cantidad de horas extras trabajadas por semana.

Cuadro No. 9 Distribución de horas extras trabajadas a lo largo del periodo en estudio

Horas extras		
Mes	Semana	Total Horas extras
ENERO	2	0
	3	0
	4	40
	5	32
FEBRERO	6	0
	7	32
	8	32
	9	56
MARZO	10	0
	11	0
	12	0
	13	0
	14	56
Total		248

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Tomando como referencia el cuadro No 9, se puede observar que se trabajó un total de 248 horas extras, las cuales están distribuidas en los 4 operarios encargados de ensamblar los motores. A continuación, se muestra un resumen de las horas extras invertidas y pagadas a cada operario. Los cálculos respectivos de la estimación económica se pueden observar en el apéndice A.

Cuadro No. 10 Resumen de pagos por horas extras

Resumen de pagos por horas extras trabajadas				
Descripción	Operario			
	1	2	3	4
Horas trabajadas	62	62	62	62
Representación económica \$	\$226.37	\$259.17	\$259.17	\$259.17
Total	\$1,003.88			

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Al analizar el cuadro No 10, se puede observar que las 248 horas extras trabajadas estuvieron divididas en la misma cantidad para cada uno de los operarios, las cuales sumaron un total de \$1003.88. Cabe destacar que el monto pagado por operarios es asignado según su experiencia y tiempo de laborar, lo que corrobora la diferencia económica pagada representada por operario.

Por otra parte, tomando como referencia el apéndice B sobre la cantidad de motores producidos vs la demanda del cliente, se puede evidenciar que, en la totalidad de las semanas en estudio, no fue alcanzada la meta de producción necesaria para satisfacer la demanda de 35 motores semanales. A continuación, se muestra un resumen de los ingresos dejados de percibir por esta situación.

Cuadro No. 11 Resumen de costos de oportunidad

Costo de oportunidad motores HSTA y Spoiler		
Descripción	Motores	
	HSTA	Spoiler
Precio de venta del motor	\$1,093.42	\$1,253.05
Demanda por motor semanalmente	15	20
Cantidad de semanas en estudio	11	
Total de motores esperados	15*11 = 165	20*11 = 220
Cantidad de motores exportados	118	195
Diferencia	47	25
Costo de oportunidad	\$51,390.74	\$31,326.25
Total	\$82,716.99	

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Tras analizar el cuadro anterior, se puede determinar que la producción de motores HSTA estuvo en 47 unidades por debajo de los requerimientos del cliente, así mismo, la producción de motores Spoiler estuvo en 25 unidades también por debajo de los requerimientos del cliente. Consecuentemente se incurrió en montos \$51,390.74 y \$31,326.25 por motores no producidos correspondiente a HSTA y Spoiler respectivamente, sumando un total de \$82,716.99

D. Análisis de origen y correlación de las principales causas con el problema.

D.1 Identificación de causas

Como primer paso para poder determinar las causas relacionadas con la problemática, se estableció un equipo de trabajo con el fin de que en conjunto se desarrolle una lluvia de ideas y así poder determinar bajo la experiencia y el conocimiento técnico por qué no se ha logrado cumplir con el objetivo de producción de ambos motores.

Cuadro No. 12 Equipo de trabajo para recopilación y análisis de datos

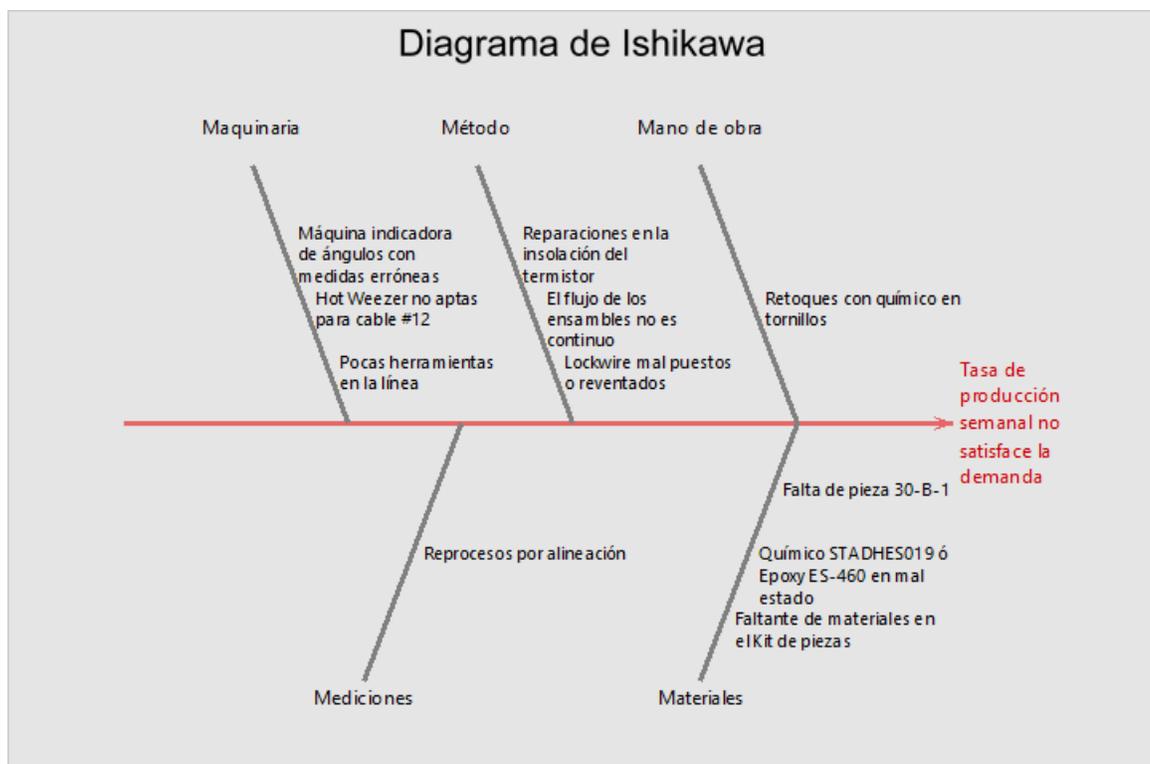
Equipo de trabajo
Ingeniero Junior y encargado de dirigir el proyecto de mejora
Operario en centro de trabajo 1 de la celda de motores HSTA y Spoiler
Operario en centro de trabajo 2 de la celda de motores HSTA y Spoiler
Operario en centro de trabajo 3 de la celda de motores HSTA y Spoiler
Operario en centro de trabajo 4 de la celda de motores HSTA y Spoiler
Inspector de calidad de la línea North Main
Supervisora de la línea North Main

Fuente: Elaboración propia

A través del cuadro No 12, se puede observar que el equipo de trabajo está conformado por un ingeniero Junior, el cual está encargado de desarrollar el proyecto de

mejora, los 4 operarios encargados de realizar el ensamble de los motores, la supervisora y el inspector de calidad de la línea.

En conjunto con el equipo de trabajo se desarrolló la técnica de lluvia de ideas, de la cual se obtuvieron 11 posibles causas relacionadas con la problemática, mismas que fueron asignadas por el equipo de trabajo en un diagrama de Ishikawa conformado por los factores, Maquinaria, Método, Mano de obra, Mediciones y Materiales como sugiere Ruggeri, Kenett & Faltin (2007). A continuación, se muestra el diagrama de Ishikawa mencionado anteriormente.



Fuente: Elaboración propia con información brindada por la empresa

Figura No. 18 Diagrama de Ishikawa de causas relacionadas al incumplimiento de la demanda de motores

A continuación, se procederá a explicar cada una de las causas encontradas según sus diferentes factores.

1. Maquinaria

- 1.1 Maquina indicadora de ángulos con medidas erróneas: Esta causa hace referencia al proceso de “Alinear Resolver 30-B-1” en el cual la máquina muestra los valores desajustados, y después de un tiempo de seguir realizando el proceso la máquina vuelve a la normalidad.
- 1.2 Hot weezer no apto para cable número 12: Esta causa hace referencia al proceso de “Realizar crimping”, en el cual se debe retirar el recubrimiento de un cable con grosor número 12 y el hot weezer ⁷no es el apto para este, por lo que el proceso requiere de mayor cuidado y tiempo para no dañar el hilo magnético de dicho cable.
- 1.3 Pocas herramientas en la línea: Debido a que las herramientas están limitadas en la celda de trabajo, en determinadas ocasiones los operarios deben esperar a que estas se desocupen para poder utilizar y terminar la tarea que están realizando.

2. Método

- 2.1 Reparaciones en la insolación del termistor: Esta causa hace referencia la operación “Instalar cable bloqueo en caja del bastidor” realizado únicamente en el ensamble del motor HSTA, en la cual la insolación que recubre el termistor pierde su posición original y mediante una pinza se debe de reajustar.
- 2.2 El flujo de los ensambles no es continuo: La celda no cuenta con un ritmo de producción uniforme en todos sus centros de trabajo, lo que genera que estos trabajen a diferentes velocidades generando cuellos de botella y afectando directamente la producción de motores para el cumplimiento de los pedidos.
- 2.3 Lockwire mal puestos o reventados: Esta causa hace referencia a la operación “Inspección final” para el caso de ambos motores y “Colocar lockwires a los tornillos restantes” solo para los motores HSTA, de los cuales en ambos casos se deben soltar y volver a colocar los lockwire.

⁷ Herramienta para retirar el recubrimiento de los cables

3. Mano de obra:

- 3.1 Retoques con químico en los tornillos: Esta causa hace referencia a la operación de “Inspección final” en la cual por falta atención y cuidado no coloca suficiente químico STADHES019 en los tornillos.

4. Mediciones

- 4.1 Reproceso por Alineación: Esta causa hace referencia a la operación “Pruebas preliminares” en las cuales por un mal alineamiento del resolver se debe abrir la caja de unión para los motores Spoiler o del bastidor para los motores HSTA y volver a realizar el alineamiento.

5. Materiales

- 5.1 Falta de la pieza 30-B-1: Al ser esta pieza uno de los componentes iniciales del ensamble, no se puede producir un nuevo motor cuando se tienen deficiencias de la misma, deteniendo por completo la producción.
- 5.2 Químico STADHES019 ó Epoxy ES-460 en mal estado: Esta causa hace referencia a las operaciones “Aplicar químico STADHES019” y “Aplicar químico ES-460” en las cuales el químico debe ser puesto a descongelar por al menos 10 minutos y si la consistencia no es la adecuada se debe sacar un nuevo kit de químico a descongelar durante al menos otros 10 minutos.
- 5.3 Faltante de alguno de los componentes en los Kits: Esta causa hace referencia a las operaciones “Colocar aislantes termo encogibles (tubbing) y limpiar caja”, “Instalar conector grande”, “Instalar conector pequeño” y “Sand Blast ⁸ a los conectores”, en los cuales cuando se van a realizar dicha operación, se identifican tanto aislantes termo encogibles como conectores en menor cantidad a la que se requiere, implicando tener que ir a reportar el problema y buscar en un nuevo kit los componentes faltantes.

⁸ Proceso de limpieza mediante de piezas mediante la aplicación de arena expulsada a presión

D.2 Priorización de causas

Con el fin de establecer cuáles son las causas que tienen mayor impacto en la problemática, se desarrolló la técnica multivoto bajo el criterio de 4 de los miembros del equipo mostrado en el cuadro No 12, esta reunión se puede evidenciar en el apéndice C. A continuación, se muestran los resultados obtenidos a través de la técnica multivoto.

Cuadro No. 13 Técnica multivoto para priorización de causas

No	Causa	Votación				Total
		JeanCarlo Castro	Kenneth Gonzalez	Jafeth Céspedes	Geanina Galo	
1	Falta de pieza 30-B-1	5	6	4	7	22
2	Reparaciones en la insolación del termistor	4	5	5	4	18
3	Máquina indicadora de ángulos con medidas erróneas	6	6	6	5	23
4	Reprocesos de Hipot o de alineación	5	5	4	4	18
6	Faltante de materiales en el Kit de piezas	5	5	5	5	20
7	Hot Weezer no aptas para cable #12	3	3	3	3	12
8	Pocas herramientas en la línea	4	5	5	4	18
9	Químico STADHES019 Y Epoxy ES-460 en mal estado	5	5	5	5	20
10	El flujo de los ensambles no es continuo	10	10	10	10	40
11	Lockwire mal puestos o reventados	6	5	5	4	20

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Mediante el análisis de los resultados mostrados en el cuadro No 13, se puede identificar que la principal causa de que no se alcance la meta de producción de los motores HSTA y Spoiler se deben al flujo de la pieza bajo diferentes ritmos de producción en los centros de trabajo obteniendo un total 40 puntos en la votación.

D.3 Validación de causas

Para establecer con mayor detalle el impacto que tiene el flujo de los motores no continuo como principal causa encontrada anteriormente, bajo la evaluación y el criterio de experto del equipo mostrado en el cuadro No 12, se procederá a realizar un análisis por separado para ambas causas.

D.3.1 Discontinuidad en el flujo o ritmo de trabajo de los ensambles.

Para validar el origen de esta causa, se determinará la distribución actual de los tiempos en los 4 centros de trabajo, la capacidad de producción teórica por centro y la producción real de los motores obtenida en el periodo en estudio.

Actualmente Tico Electronics trabaja durante un turno diurno de 48 horas semanales de las cuales distribuye su tiempo en ejercicios matutinos, tiempo para desayunar, tiempo de estiramientos, tiempo de almuerzo, tiempo para el café, y la resta de todos estos tiempos constituyen el tiempo efectivo de trabajo, del cual se asigna las proporciones de tiempo según los requerimientos de producción. A continuación, se muestra un resumen de los tiempos mencionados anteriormente.

Cuadro No. 14 Distribución de tiempos semanalmente

TIEMPO LABORAL SEMANAL		
DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS	MINUTOS	HORAS
HORAS JORNADA LABORAL	2880	48
EJERCICIOS MATUTINOS	75	1.25
TIEMPO DESAYUNO	75	1.25
TIEMPO DE ESTIRAMIENTO	25	0.42
TIEMPO ALMUERZO	150	2.5
TIEMPO CAFÉ	40	0.666667
TIEMPO EFECTIVO TOTAL	2515	41.92
PROPORCIÓN DE TIEMPO PARA SPOILER	57%	
PROPORCIÓN DE TIEMPO PARA HSTA	43%	
TIEMPO EFECTIVO MOTOR SPOILER	1081.45	18.02
TIEMPO EFECTIVO MOTOR HSTA	1437.14	23.95

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

En el cuadro No 14 mostrado anteriormente, se puede observar que, una vez restados los tiempos improductivos del tiempo total disponible por semana, se obtiene un tiempo efectivo de trabajo de 2515 minutos, de los cuales según la proporción de motores a producir semanalmente se distribuyen en un 57% del tiempo para producir Spoilers y un 43% para producir HSTA, equivalentes a 1437.14 min y 1081.45 min respectivamente. El cálculo de estas proporciones de tiempo está dado en función de la cantidad de motores a producir, es decir $20/35$ y $15/35$.

Seguidamente, se procedió a asignar los tiempos tomados para las operaciones referentes a ambos motores, lo cuales cabe destacar fueron tomados en un estudio realizado el II semestre del 2019. Cabe destacar que estos tiempos fueron validados y que no se encontró diferencia en los resultados obtenidos.

Cuadro No. 15 Tiempos estándar para los procedimientos requeridos en los motores SPOILER y HSTA

SPOILER			HSTA		
No. OP	OPERACIONES	Tiempo (min/und)	No. OP	OPERACIONES	Tiempo (min/und)
1	Ensamblar rotor en el estator	15.50	1	Ensamblar rotor en el estator	15.50
2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	5.84	2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	5.84
3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	3.66	3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	3.66
4	Colocar placa y flanges	3.66	4	Colocar placa y flanges	3.66
5	Instalar el freno	3.00	5	Instalar el freno	3.00
6	Pruebas eléctricas	2.50	6	Pruebas eléctricas	2.50
7	Preparación para "etching"	8.25	7	Preparación para "etching"	8.25
8	Realizar "Etching"	5.25	8	Realizar "Etching"	5.25
9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88	9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88
10	Instalar caja de unión	6.28	10	Instalar la caja del bastidor	3.43
11	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) SPOILER	9.80	11	Instalar cable de bloqueo a caja del bastidor	13.82
12	Aplicar Epoxy (STADHES019)	7.82	12	Instalar el cable de freno y tapa	7.88
13	Curar Epoxy STADHES019	60.00	13	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) HSTA	15.77
14	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	20.00	14	Aplicar Epoxy (STADHES019)	7.82
15	Ensamblar la caja de unión (junction box)	9.70	15	Curar epoxy (STADHES019) a 95°C	60.00
16	Instalar mayas y tubings de conectores	8.07	16	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	20.00
17	Insertar pines en los conectores	7.93	17	Sand blast conectores	12.40
18	Realizar "crimping"	6.93	18	Realizar "crimping"	6.93
19	Instalar conectores	5.66	19	Instalar los pines en el conector	7.93
20	Realizar pruebas preliminares	12.37	20	Cerrar caja de ensamble	7.87
21	Aplicar Epoxy ES-460	9.77	21	Realizar pruebas preliminares	12.37
22	Curar a temperatura ambiente Epoxy ES-460	120.00	22	Pre calentar moldes Epoxy ES-460	30.00
23	Instalar soporte del cable (cable bracket) y cobertura del freno (brake cover)	2.63	23	Aplicar Epoxy ES-460	9.77
24	Instalar aislante termo-encogible y STADHES019	18.92	24	Curar temperatura ambiente Epoxy ES-460	120.00
25	Curar a 95°C Epoxy ES-460 y ESTADHES019	120.00	25	Curar 95°C Epoxy ES-460	120.00
26	Dejar enfriar el ensamble	20.00	26	Dejar enfriar el ensamble	20.00
27	Realizar pruebas eléctricas	6.45	27	Quitar los moldes para Epoxy e inspección visual	3.75
28	Instalar cables de bloqueo (lockwire)	14.22	28	Aplicar químico "sealant"	18.77
29	Realizar inspección final	18.40	29	Instalar conectores al conector box	3.62
30	Empacar el ensamble	2.40	30	Instalar placa de recubrimiento (Cover Plate) y cobertura del freno (Cable bracket)	3.67
			31	Aplicar sealant	12.00
			32	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los conectores	15.85
			33	Curar a 95°C Sealant	60.00
			34	Dejar enfriar a temperatura ambiente Sealant	20.00
			35	Realizar pruebas eléctricas	6.45
			36	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los tornillos restantes	17.00
			37	Realizar inspección visual	18.40
			38	Empacar el ensamble	2.40

Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la empresa

A través del cuadro mostrado anteriormente, se pueden observar los tiempos estándar establecidos para las operaciones de ambos motores, seguidamente, estos se asignaron a los centros de trabajo según la distribución actual de operaciones. A continuación, se realizará el análisis correspondiente para ambos motores

Cuadro No. 16 Distribución actual de tiempos por centro de trabajo para el motor Spoiler

Spoiler							
CENTRO DE TRABAJO	No. OP	OPERACIONES	Tiempo de carga (min/und)	Tiempo por centro (min/und)	Tiempo disponible	Capacidad teórica de producción	CAPACIDAD TEÓRICA DEL PROCESO (unidades)
1	1	Ensamblar rotor en el estator	15.50	42.41	1437.14	33.00	
	2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	5.84				
	3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	3.66				
	4	Colocar placa y flanges	3.66				
	5	Instalar el freno	3.00				
	6	Pruebas electricas	2.50				
	7	Preparación para "etching"	8.25				
2	8	Realizar "Etching"	5.25	49.73	1437.14	28.00	
	9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88				
	10	Instalar caja de unión	6.28				
	11	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) SPOILER	9.80				
	12	Aplicar Epoxy (STADHES019)	7.82				
3	15	Ensamblar la caja de unión (junction box)	9.70	28.59	1437.14	50.00	17
	16	Instalar mayas y tubings de conectores	8.07				
	17	Insertar pines en los conectores	7.93				
	18	Realizar "crimping"	6.93				
4	19	Instalar conectores	5.66	82.76	1437.14	17.00	
	20	Realizar pruebas preliminares	12.37				
	21	Aplicar Epoxy ES-460	9.77				
	23	Instalar soporte del cable (cable bracket) y cobertura del freno (brake cover)	2.63				
	24	Instalar aislante termo-encogible y STADHES019	18.92				
	27	Realizar pruebas eléctricas	6.45				
	28	Instalar cables de bloqueo (lockwire)	14.22				
29	Realizar inspección final	18.40					
Ins.Cld	30	Empacar el ensamble	2.40	2.40	1437.14	598.00	
Hornos	13	Curar Epoxy STADHES019	60.00	180.00	14371	79.00	
	25	Curar a 95°C Epoxy ES-460 y ESTADHES019	120.00				
Aire Libre	14	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	20.00	160.00	5748.57	35.00	
	22	Curar a temperatura ambiente Epoxy ES-460	120.00				
	26	Dejar enfriar el ensamble	20.00				
			Touch Time	205.89			

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Inicialmente, a través del cuadro 16, se logra observar que la distribución de los tiempos es significativamente diferente para los 4 diferentes centros de trabajo, en los cuales el encargado del centro de trabajo numero 1 completa su parte del ensamble 40.31 min más rápido que el encargado del centro de trabajo 4, así como el encargado del centro de trabajo 2 completa su trabajo 33.03 min nuevamente más rápido que el centro de trabajo 4, y de igual manera, el centro de trabajo 3 finaliza su parte 54.17 min más rápido que el centro de trabajo 4. Consecuentemente, la capacidad de producción teórica está dada por la velocidad de trabajo establecida por el centro de trabajo más lento, es decir, el número 4 con 82.76 min, limitando la producción semanal a 17 motores, esto se puede corroborar mediante la siguiente fórmula, tal y como menciona (Macías, 2011)

$$\begin{aligned}
 \text{Capacidad de diseño} &= \frac{1437,14 \text{ minutos disponibles semanalmente}}{82.76 \text{ min por motor}} \\
 \text{Capacidad de diseño} &= 17 \text{ motores semanales}
 \end{aligned}$$

Con base en los resultados obtenidos anteriormente, se puede establecer que bajo una producción constante de motores Spoiler a la semana, regulada por la proporción de tiempo disponible para este motor, no es suficiente para alcanzar la meta de producción semanal de 20 motores Spoiler, estando 3 motores semanales por debajo del total necesario. Consecuentemente esto se traduce en un costo de oportunidad y horas extras trabajadas a lo largo de las 11 semanas en estudio. A continuación, se muestran un resumen del impacto económico generado. Los cálculos correspondientes se pueden ver en el apéndice D.

Es importante mencionar que actualmente los operarios realizan labores únicamente dentro de sus centro de trabajo, lo que se traduce en tiempos ociosos para los operarios que presentan menor carga de trabajo, esto debido a que los puestos anteriores requieren de un mayor tiempo para finalizar su trabajo y por ende para poder trasladar el ensamble al siguiente puesto.

Además, cabe destacar que la empresa la empresa trabaja bajo la política de mantener un inventario máximo por estación de trabajo de 2 motores.

Cuadro No. 17 Impacto económico generado por flujo discontinuo del motor Spoiler a lo largo de los centros de trabajo

MOTOR	→	SPOILER
Cantidad de motores demandados		220
Cantidad maxima posible a producir		187
cantidad producida		195
Cantidad producida sin extras		80
cantidad producida con extras		115
Costo de oportunidad en semanas donde no se trabajo extras		\$25,061.00
Costo de oportunidad en semanas donde se trabajo extras		\$6,265.25

Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la empresa

Tomando como referencia los resultados mostrados en el cuadro No 17, se establece que para las 6 semanas donde el cliente requería la mayor cantidad de motores, se produjeron 5 menos respecto a la meta de producción, por lo que a través del precio de venta de los motores Spoiler, se logró determinar que se dejaron de percibir ventas por \$6,265.25, esto equivale a un 7.57% del monto total dejado de percibir por costo de oportunidad. Por otra parte, con respecto a las 5 semanas donde el cliente no requería estrictamente la exportación de los 20 motores, se determinó que se dejaron de percibir

ventas por \$25,061.00 esto equivale a un 30.30% del monto total dejado de percibir por costo de oportunidad.

Seguidamente se realizará el mismo análisis para el motor HSTA.

Cuadro No. 18 Distribución actual de tiempos por centro de trabajo para el motor HSTA

HSTA							
CENTRO DE TRABAJO	No. OP	OPERACIONES	Tiempo de carga (min/und)	Tiempo por centro (min/und)	Tiempo disponible	Capacidad teórica de	CAPACIDAD TEÓRICA DEL
1	1	Ensamblar rotor en el estator	15.50	48	1078	22	
	2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	5.84				
	3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	3.66				
	4	Colocar placa y flanges	3.66				
	5	Instalar el freno	3.00				
	6	Pruebas eléctricas	2.50				
	7	Preparación para "etching"	8.25				
	8	Realizar "Etching"	5.25				
2	9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88	78.93	1077.857143	13	
	10	Instalar la caja del bastidor	3.43				
	11	Instalar cable de bloqueo a caja del bastidor	13.82				
	12	Instalar el cable de freno y tapa	7.88				
	13	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) HSTA	15.77				
	14	Aplicar Epoxy (STADHES019)	7.82				
	17	Sand blast conectores	12.40				
	18	Realizar "crimping"	6.93				
3	19	Instalar los pines en el conector	7.93	90.05	1077.86	11	11
	20	Cerrar caja de ensamble	7.87				
	21	Realizar pruebas preliminares	12.37				
	23	Aplicar Epoxy ES-460	9.77				
	27	Quitar los moldes para Epoxy e inspección visual	3.75				
	28	Aplicar químico "sealant"	18.77				
	29	Instalar conectores al conector box	3.62				
	32	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los conectores	15.85				
	30	Instalar placa de recubrimiento (Cover Plate) y cobertura del freno (Cable bracket)	3.67				
35	Realizar pruebas eléctricas	6.45					
4	36	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los tornillos restantes	17.00	47.40	1077.86	22	
	31	Aplicar sealant	12.00				
	37	Realizar inspección visual	18.40				
Ins.Cld	38	Empacar el ensamble	2.40	2.40	1077.86	449	
Hornos	15	Curar epoxy (STADHES019) a 95°C	60.00	270.00	10779	39	
	22	Pre calentar moldes Epoxy ES-460	30.00				
	25	Curar 95°C Epoxy ES-460	120.00				
	33	Curar a 95°C Sealant	60.00				
Aire Libre	16	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	20.00	180.00	4311	23	
	24	Curar temperatura ambiente Epoxy ES-460	120.00				
	26	Dejar enfriar el ensamble	20.00				
	34	Dejar enfriar a temperatura ambiente Sealant	20.00				
Touch Time			266.44				

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Siguiendo los resultados mostrados cuadro No 18, se puede identificar que la distribución de los tiempos también es significativamente diferente para los 4 diferentes centros de trabajo, en los cuales el encargado del centro de trabajo numero 1 completa su parte del ensamble 57.95 min más rápido que el encargado del centro de trabajo 3, así mismo, el encargado del centro de trabajo 2 completa su trabajo 11.12 min más rápido que el centro de trabajo 3, y de igual manera, el operarios del centro de trabajo 4 finaliza sus operaciones 43.65 min más rápido que el operario del centro de trabajo 3. Consecuentemente, la capacidad de producción teórica está dada por la velocidad de

trabajo establecida por el centro de trabajo más lerdo, es decir, el número 3, limitando la producción semanal a 11 motores.

$$\text{Capacidad de diseño} = \frac{1087.85 \text{ minutos disponibles semanalmente}}{90.05 \text{ min por motor}}$$

$$\text{Capacidad de diseño} = 11 \text{ motores semanales}$$

De la misma manera, basado en los resultados obtenidos anteriormente, se puede establecer que bajo una producción constante de motores HSTA a la semana, regulada por la proporción de tiempo disponible para este motor, no es suficiente para alcanzar la meta de producción semanal de 15 motores HSTA, estando 4 motores semanales por debajo del total necesario. Consecuentemente esto se traduce en un costo de oportunidad y horas extras trabajadas a lo largo de las 11 semanas en estudio. A continuación, se muestran un resumen del impacto económico generado. Los cálculos correspondientes se pueden ver en el apéndice E.

Por otra parte, cabe destacar que al igual que en los motores Spoiler, los operarios realizan labores únicamente dentro de sus centro de trabajo, lo que genera tiempos ociosos para los operarios que presentan menor carga de trabajo, esto debido a que los puestos anteriores requieren de un mayor tiempo para finalizar su trabajo y por ende para poder trasladar el ensamble al siguiente puesto. Así mismo, mantienen la política de un inventario máximo por estación de trabajo de 2 motores.

Cuadro No. 19 Impacto económico generado por flujo discontinuo del motor HSTA a lo largo de los centros de trabajo

MOTOR	HSTA
Cantidad de motores demandados	165
Cantidad maxima posible a producir	121
cantidad producida	118
Cantidad producida sin extras	47
cantidad producida con extras	71
Costo de oportunidad en semanas donde no se trabajo extras	\$30,615.76
Costo de oportunidad en semanas donde se trabajo extras	\$20,774.98

Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la empresa

Tras analizar el cuadro No 19, se establece que para las 6 semanas donde el cliente requería la producción total de los 15 motores se produjeron 19 menos respecto a la meta

para dicha cantidad de semanas, por lo que a través del precio de venta de los motores HSTA, se logró determinar que se dejaron de percibir ventas por \$20,774.98, es decir un 25.12% del monto total equivalente al costo de oportunidad. Por otra parte, con respecto a las 5 semanas donde el cliente no requería estrictamente la exportación de los 15 motores, se determinó que se dejaron de percibir ventas por \$30,615.76 esto equivale a un 37.01% del monto total dejado de percibir por costo de oportunidad.

Cuadro No. 20 Resumen de la relación entre capacidad de producción y demanda del cliente

MOTOR →	SPOILER	HSTA
Producción semanal requerida por el cliente	20	15
Capacidad de producción	17	11
Diferencia	3	4

Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la empresa

Como es posible observar en el cuadro anterior, sin recurrir a horas extras, la capacidad de producción de los motores HSTA está en 4 unidades por debajo de lo solicitado por el cliente, mientras que el motor Spoiler en 3 unidades por debajo de lo solicitado por el cliente.

Además, para establecer cuanto representó económicamente cada motor trabajado en horas extras se generó el siguiente cuadro.

Cuadro No. 20 Estimación del pago por motor trabajado en horas extras

Descripción	Dato
Cantidad de motores ensamblados en horas extras	25
Total pagado en horas extras	\$1,003.88
Costo promedio por motor trabajado en hora extra	\$40.16

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Tomando como referencia los resultados mostrados anteriormente, se puede establecer que cada motor trabajado en horas extras equivale a un pago de \$40.16.

V. CONCLUSIONES DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Se determinó que los 2 principales efectos generados en relación con el incumplimiento de la demanda de motores requerida por el cliente, son el pago de horas extras para alcanzar la producción cuando el cliente así lo solicita y un costo de oportunidad por no lograr alcanzar la meta de producción.

Se concluyó que el pago por horas extras tuvo un impacto económico de \$1003.88 en la empresa y el costo de oportunidad un impacto económico de \$82,716.99 dejados de percibir por no alcanzar la meta de producción durante las 11 semanas en estudio

Se comprobó que la principal causa relacionada a la problemática de incumplimiento de la demanda de motores requerida por el cliente estaba dada por el flujo discontinuo de los motores a través de los 4 centros de trabajo.

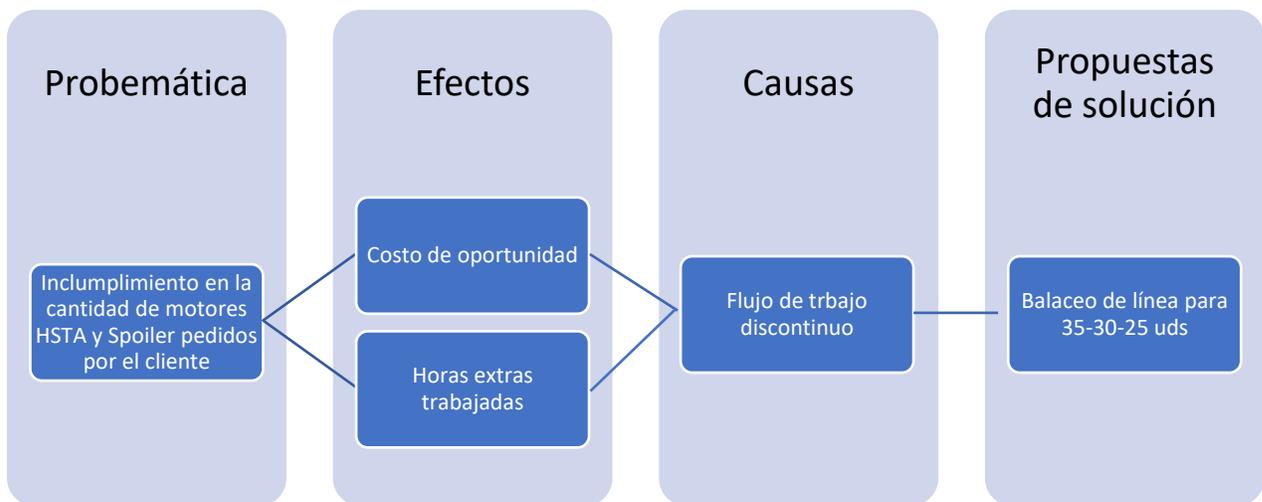
Se calculó que la estimación económica por costo de oportunidad de los motores HSTA estaban dados por \$ 51390.74 , así mismo, para los motores Spoiler la estimación económica estaba dada por \$ 31326.25, ambas debido al flujo discontinuo de los motores.

Se determinó que a lo largo del periodo de estudio se incurrió en un gasto de \$1003.88 por pagos en horas extras, equivalentes a \$40.16 por motor ensamblado.

VI. SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO

En la presente sección, se establecerá cómo el problema en estudio se relaciona con los efectos y sus causas, además se mostrará el impacto de estos elementos con datos obtenidos en el diagnóstico. Finalmente, se proyectará cómo las soluciones propuestas impactarán las causas.

A continuación, se muestra las herramientas y procedimientos a realizar para completar los siguientes pasos de la metodología.



Fuente: Elaboración propia

Figura No. 19 Esquema representativo de la relación de la problemática con sus efectos, causas y soluciones a las mismas.

Con base en la figura 19 se puede observar que la problemática que aqueja la línea de producción North Main, se debe al incumplimiento en la cantidad de motores requeridos por el cliente semanalmente, lo cual se ve reflejado dos principales efectos, siendo estos un costo de oportunidad al dejar de percibir dinero por ventas que no se realizaron, las cuales fueron equivalentes a \$82,716.99 y el tener que incurrir en pagos de horas extras a los operarios lo cual se vió reflejado en \$1003.88. Así mismo, ambos efectos se originaron a partir de la falta de un flujo continuo de los motores en los centros de trabajo. Consecuentemente, se propone que se desarrolle un balance de la línea, con el cual se logrará aumentar el porcentaje de cumplimiento de los pedidos del cliente de los motores Spoiler en un 11.37% y la de los motores HSTA en 28.49%. A continuación, se detallan las propuestas con las que se logrará alcanzar el 100% de cumplimiento de la demanda.

Por otra parte, cabe destacar que la empresa Tico Electronics ha considerado de la mano con el cliente una posible reducción en la producción semanal de ambos motores, consecuentemente como solicitud de Tico Electronics, además de la propuesta para alcanzar la producción de 20 motores Spoiler y 15 HSTA, se elaboraron propuestas para una demanda de 30 motores semanales, distribuidos en 18 motores Spoiler y 12 HSTA, y otra propuesta para una demanda de 25 unidades, siendo esta de 15 motores Spoiler y 10 HSTA. A continuación, se describen las propuestas de solución mencionadas anteriormente según la cantidad demanda.

A. Balanceo de línea para 35 motores semanales.

A.1 Takt time

Como procedimiento inicial se calculó la velocidad a la que necesitan completar los motores para satisfacer la demanda del cliente.

Cuadro No. 21 Estimación del takt time propuesta 1

Cálculo takt time				
Motor	Demanda (unds/sem)	Tiempo Disponible (min)	"Takt time" (min)	"90% Takt time" (min)
HSTA	15	2515	71.86	64.67
Spoiler	20			
Total	35			

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Con base en el cuadro No 21, se puede observar que los motores deberían ser producidos a una velocidad de 71.86 min la unidad para poder cumplir con la demanda de 35 unidades, sin embargo, debido a las prácticas establecidas en la empresa, los centros de trabajo deben estar balanceadas preferiblemente a un 90% del takt time calculado, consecuentemente los motores se deberán producir a una velocidad de 64.67 min la unidad.

A.2 Balance propuesto para el motor Spoiler

Una vez establecido el ritmo de producción al que se deben completar los motores, realizaron ajustes en la distribución de las operaciones según sus tiempos y el flujo normal de trabajo, obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro No. 22 Primer balance de línea propuesto para el motor Spoiler

Spoiler							
CENTRO DE TRABAJO	No. OP	OPERACIONES	Tiempo de carga (min/und)	Tiempo por centro (min/und)	Tiempo disponible	Capacidad teórica de producción	CAPACIDAD TEÓRICA DEL PROCESO (unidades)
1	1	Ensamblar rotor en el estator	15.50	47.66	1437.14	30.00	
	2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	5.84				
	3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	3.66				
	4	Colocar placa y flanges	3.66				
	5	Instalar el freno	3.00				
	6	Pruebas electricas	2.50				
	7	Preparación para "etching"	8.25				
	8	Realizar "Etching"	5.25				
2	9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88	44.48	1437.14	32.00	
	10	Instalar caja de unión	6.28				
	11	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) SPOILER	9.80				
	12	Aplicar Epoxy (STADHES019)	7.82				
	15	Ensamblar la caja de unión (junction box)	9.70				
3	16	Instalar mayas y tubings de conectores	8.07	53.36	1437.14	26.00	24
	17	Insertar pines en los conectores	7.93				
	18	Realizar "crimping"	6.93				
	19	Instalar conectores	5.66				
	20	Realizar pruebas preliminares	12.37				
	21	Aplicar Epoxy ES-460	9.77				
	23	Instalar soporte del cable (cable bracket) y cobertura del freno (brake cover)	2.63				
4	24	Instalar aislante termo-encogible y STADHES019	18.92	57.99	1437.14	24.00	
	27	Realizar pruebas eléctricas	6.45				
	28	Instalar cables de bloqueo (lockwire)	14.22				
	29	Realizar inspección final	18.40				
Ins.Cld	30	Empacar el ensamble	2.40	2.40	1437.14	598.00	
Hornos	13	Curar Epoxy STADHES019	60.00	180.00	10815	60.00	
	25	Curar a 95°C Epoxy ES-460 y ESTADHES019	120.00				
Aire Libre	14	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	20.00	160.00	4325.80	27.00	
	22	Curar a temperatura ambiente Epoxy ES-460	120.00				
	26	Dejar enfriar el ensamble	20.00				
			Touch Time	205.89			

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

A través del cuadro No 22, se puede observar que los 4 diferentes centros de trabajo están por debajo de los 64.67 min establecidos como el takt time, así mismo se logra distribuir los tiempos por centro de trabajo de manera que estos sean lo más similarmente posibles, evidenciando el cambio más significativo en los centros de trabajo 2 y 3 disminuyendo la diferencia de tiempos desde 54,17 a 9.88 minutos mejorando así el flujo de producción entre ambos centros de trabajo. Además, se logró aumentar la capacidad máxima de producción semanal de 17 a 24 motores, siendo esto suficiente para poder cumplir con los 20 motores requeridos por el cliente.

Así mismo, se establece que existen 232 minutos de holgura semanales referentes a la capacidad de producir 4 motores extras, los cuales serán aprovechados en otra de las áreas de producción de North Main según necesidad basado en las indicaciones de la

supervisora de la línea. A continuación, se describen los cambios realizados en la distribución de las operaciones.

Cuadro No. 23 Cambios realizados en la distribución de tareas para la primer propuesta del motor Spoiler

SPOILER			
No.Op	Operación	Tiempo de operación	Cambio
20	Realizar pruebas preliminares	12.37	Todas las operaciones pasaron de realizarse en el centro de trabajo 2 al 3
21	Aplicar Epoxy ES-460	9.77	
23	Instalar soporte del cable (cable bracket) y cobertura del freno (brake cover)	2.63	

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Tras analizar el cuadro No 23 se puede evidenciar que los cambios fueron realizados únicamente en 3 operaciones, las cuales se realizaban en el centro de trabajo 2 y se le asignaron al centro de trabajo 3, éstas representan una transferencia total 24.77 minutos.

A.3 Balance propuesto para el motor HSTA

Una vez establecido el ritmo de producción al que se deben completar los motores, realizaron ajustes en la distribución de las operaciones según sus tiempos y el flujo normal de trabajo, obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro No. 24 Primer balance de línea propuesto para el motor HSTA

HSTA							
CENTRO DE TRABAJO	No. OP	OPERACIONES	Tiempo de carga (min/und)	Tiempo por centro (min/und)	Tiempo disponible	Capacidad teórica de	CAPACIDAD TEÓRICA DEL
1	1	Ensamblar rotor en el estator	15.50	59	1081.45	18	
	2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	5.84				
	3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	3.66				
	4	Colocar placa y flanges	3.66				
	5	Instalar el freno	3.00				
	6	Pruebas electricas	2.50				
	7	Preparación para "etching"	8.25				
	8	Realizar "Etching"	5.25				
	9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88				
2	10	Instalar la caja del bastidor	3.43	63.58	1081.45	17	
	11	Instalar cable de bloqueo a caja del bastidor	13.82				
	12	Instalar el cable de freno y tapa	7.88				
	13	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) HSTA	15.77				
	14	Aplicar Epoxy (STADHES019)	7.82				
	18	Realizar "crimping"	6.93				
	19	Instalar los pines en el conector	7.93				
3	20	Cerrar caja de ensamble	7.87	66.27	1081.45	16	16
	21	Realizar pruebas preliminares	12.37				
	23	Aplicar Epoxy ES-460	9.77				
	27	Quitar los moldes para Epoxy e inspección visual	3.75				
	28	Aplicar químico "sealant"	18.77				
	29	Instalar conectores al conector box	3.62				
	30	Instalar placa de recubrimiento (Cover Plate) y cobertura del freno (Cable bracket)	3.67				
4	35	Realizar pruebas eléctricas	6.45	63.25	1081.45	17	
	31	Aplicar sealant	12.00				
	32	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los conectores	15.85				
	36	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los tornillos restantes	17.00				
	37	Realizar inspección visual	18.40				
Ins.Cld	38	Empacar el ensamble	2.40	2.40	1081.45	450	
Hornos	15	Curar epoxy (STADHES019) a 95°C	60.00	270.00	10779	39	
	22	Pre calentar moldes Epoxy ES-460	30.00				
	25	Curar 95°C Epoxy ES-460	120.00				
	33	Curar a 95°C Sealant	60.00				
Aire Libre	16	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	20.00	180.00	4311	23	
	24	Curar temperatura ambiente Epoxy ES-460	120.00				
	26	Dejar enfriar el ensamble	20.00				
	34	Dejar enfriar a temperatura ambiente Sealant	20.00				
Touch Time			254.04				

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

A través del cuadro No 24, se puede observar que los centros de trabajo 1,2 y 4 están por debajo de los 64.67 min establecidos como el takt time, por otra el centro de trabajo 3 se encuentra ligeramente por encima de este. No obstante, se logra distribuir los tiempos por centro de trabajo de manera que estos sean lo más similarmente posibles, evidenciando el cambio más significativo en los centros de trabajo 3 y 4 disminuyendo la diferencia de tiempos desde 42.65 a 3.02 minutos mejorando así el flujo de producción entre ambos centros de trabajo. Además, se logró aumentar la capacidad máxima de producción semanal de 11 a 16 motores, siendo esto suficiente para poder cumplir con los 15 motores requeridos por el cliente.

Así mismo, se establece que existen 66.27 minutos de holgura semanales referentes a la capacidad de producir 1 motor extra, los cuales serán aprovechados en otra de las áreas de producción de North Main según necesidad basado en las indicaciones de la supervisora de la línea. A continuación, se describen los cambios realizados en la distribución de las operaciones.

Cuadro No. 25 Cambios realizados en la distribución de tareas para la primer propuesta del motor HSTA

Cambios por balanceo de línea en motor HSTA			
No.Op	Operación	Tiempo de operación	Cambio
17	Sand Blast de conectores	12.40 min	Se asignó a un operario externo a la celda de producción de motores
32	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los conectores	15.85 min	Pasó de realizarse en el centro de trabajo 3 al centro de trabajo 4

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

A través del cuadro No 25 se puede evidenciar que los cambios fueron realizados únicamente en 2 operaciones, donde un operario externo a la fabricación de los motores pero perteneciente a la misma línea North Main, se le asignó la operación sand blast a los conectores, esto debido a que el mismo realiza procesos similares y tiene el tiempo para ocuparse de esta tarea en su jornada diaria, consecuentemente dicha tarea equivalente a 12.40 min fue eliminada de los tiempos por centro de trabajo. Finalmente, se le asignó al centro de trabajo 4 una operación anteriormente realizada en el número 3 con un tiempo de 15.85 min.

A.4 Análisis económico de la propuesta

Cuadro No. 26 Resultados obtenidos para el análisis económico de la propuesta para la elaboración de 35 motores

Cálculo de flujo efectivo semanal generado por propuestas de solución				
Semana	1	2	3	4
Ingresos	\$8,132.83	\$8,132.83	\$8,132.83	\$8,132.83
Ahorro por horas extras	\$91.26	\$91.26	\$91.26	\$91.26
Costo de diseño de la propuesta	\$2,184.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Flujo de efectivo	\$6,040.09	\$8,224.09	\$8,224.09	\$8,224.09

Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la empresa

Con base en el cuadro mostrado anteriormente, se puede observar que la implementación de estas propuestas conlleva únicamente el costo del diseño de las propuestas de solución, el cual hace referencia al salario pagado en las 13 semanas hábiles para presentar el proyecto, siendo este de \$2184.00. Por otra parte lo que se estable como ingresos, son equivalentes a los 4 motores extras que se podrán elaborar para alcanzar la demanda de 15 motores HSTA así como los 3 motores SPOILER extras que se podrán producir para cumplir con los 20 requeridos semanalmente. Además se generará un ahorro promedio por pago de horas extras equivalentes a \$77.22, los cuales son el resultado de dividir los \$1003.88 gastados en horas extras entre las 11 semanas en estudio. Los cálculos respectivos se pueden observar en el apéndice F.

Así mismo, al analizar los resultados mostrados en el cuadro No 26, se puede evidenciar que desde la primer semana de haber implementado la propuesta, se habrá recuperado la inversión inicial requerida en estas, y se obtendrán \$6040.09 de ganancia para dicha semana, por otra parte, los ingresos extras para las siguientes semanas serán de \$8224.09.

B. Balanceo de línea para 30 motores semanales.

B.1 Takt time

Como procedimiento inicial se calculó la velocidad a la que necesitan completar los motores para satisfacer la demanda del cliente.

Cuadro No. 27 Estimación del takt time propuesta 2

Cálculo takt time				
Motor	Demanda (unds/sem)	Tiempo Disponible (min)	"Takt time" (min)	"90% Takt time" (min)
Spoiler	18	2515	83.83	75.45
HSTA	12			
Total	30			

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Con base en el cuadro No 27, se puede observar que los motores deberían ser producidos a una velocidad de 83.33 min la unidad para poder cumplir con la demanda de

35 unidades, sin embargo, según las prácticas de la empresa anteriormente mencionadas, se establece que estos se deberán producir a una velocidad de 75.45 min la unidad.

B.2 Balance propuesto para el motor Spoiler

Una vez establecido el ritmo de producción al que se deben completar los motores, realizaron ajustes en la distribución de las operaciones según sus tiempos y el flujo normal de trabajo, obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro No. 28 Segundo balance de línea propuesto para el motor Spoiler

Spoiler							
CENTRO DE TRABAJO	No. OP	OPERACIONES	Tiempo de carga (min/und)	Tiempo por centro (min/und)	Tiempo disponible	Capacidad teórica de producción	CAPACIDAD TEÓRICA DEL PROCESO (unidades)
1	1	Ensamblar rotor en el estator	15.50	64.82	1425.17	21.00	
	2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	5.84				
	3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	3.66				
	4	Colocar placa y flanges	3.66				
	5	Instalar el freno	3.00				
	6	Pruebas electricas	2.50				
	7	Preparación para "etching"	8.25				
	8	Realizar "Etching"	5.25				
	9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88				
	10	Instalar caja de unión	6.28				
2	11	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) SPOILER	9.80	68.28	1425.17	20.00	20
	12	Aplicar Epoxy (STADHES019)	7.82				
	15	Ensamblar la caja de unión (junction box)	9.70				
	16	Instalar mayas y tubings de conectores	8.07				
	17	Insertar pines en los conectores	7.93				
	18	Realizar "crimping"	6.93				
	19	Instalar conectores	5.66				
	20	Realizar pruebas preliminares	12.37				
3	21	Aplicar Epoxy ES-460	9.77	70.39	1425.17	20.00	
	23	Instalar soporte del cable (cable bracket) y cobertura del freno (brake cover)	2.63				
	24	Instalar aislante termo-encogible y STADHES019	18.92				
	27	Realizar pruebas eléctricas	6.45				
	28	Instalar cables de bloqueo (lockwire)	14.22				
	29	Realizar inspección final	18.40				
Ins.Cld	30	Empacar el ensamble	2.40	2.40	1425.17	593.00	
Hornos	13	Curar Epoxy STADHES019	60.00	180.00	10898	60.00	
	25	Curar a 95°C Epoxy ES-460 y ESTADHES019	120.00				
Aire Libre	14	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	20.00	160.00	4359.33	27.00	
	22	Curar a temperatura ambiente Epoxy ES-460	120.00				
	26	Dejar enfriar el ensamble	20.00				
Touch Time				205.89			

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

A través del cuadro No 28, se puede observar inicialmente que se pasó de tener 4 centros de trabajo a solo 3, recurso que será aprovechado en el área de producción de resolvers de North Main basado en los requerimientos e indicaciones de la supervisora de la línea, así mismo estos están por debajo de los 75.45 min establecidos como el takt time,

además, la distribución de los tiempos por centro de trabajo es sumamente cercano lo que se traduce en un flujo de trabajo continuo.

Por otra parte, se establece que basado en la distribución de operaciones propuesta se logrará una producción semanal de 20 motores, por lo tanto es posible cumplir con los 18 motores requeridos por el cliente.

Así mismo, se establece que existen 140 minutos de holgura semanales referentes a la capacidad de producir 2 motores extras de los requeridos por el cliente, los cuales serán aprovechados en otra de las áreas de producción de North Main según necesidad basado en las indicaciones de la supervisora de la línea. A continuación, se describen los cambios realizados en la distribución de las operaciones.

Cuadro No. 29 Cambios realizados en la distribución de tareas para la segunda propuesta del motor Spoiler

SPOILER			
No.Op	Operación	Tiempo de operación	Cambio
8	Realizar "Etching"	5.25	Ambas operaciones pasaron de realizarse en el centro de trabajo 2 al 1
9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88	
10	Instalar caja de unión	6.28	
16	Instalar mayas y tubings de conectores	8.07	Ambas operaciones pasaron de realizarse en el centro de trabajo 3 al 2
17	Insertar pines en los conectores	7.93	
18	Realizar "crimping"	6.93	
19	Instalar conectores	5.66	
20	Realizar pruebas preliminares	12.37	Ambas operaciones pasaron de realizarse en el centro de trabajo 4 al 2
21	Aplicar Epoxy ES-460	9.77	Ambas operaciones pasaron de realizarse en el centro de trabajo 4 al 3
23	Instalar soporte del cable (cable bracket) y cobertura del freno (brake cover)	2.63	
24	Instalar aislante termo-encogible y STADHES019	18.92	
27	Realizar pruebas eléctricas	6.45	
28	Instalar cables de bloqueo (lockwire)	14.22	
29	Realizar inspección final	18.40	

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Tras analizar el cuadro No 29 se puede evidenciar que se realizaron múltiples cambios los cuales finalizaron en la transformación de 4 centros de trabajo a solo 3, donde al centro de trabajo 1 se le asignaron 3 operaciones del centro de trabajo 2 las cuales representan un total de 22.41 minutos, por otra parte al centro de trabajo 2 se le asignaron 4 operaciones del centro de trabajo 3 más otra del centro de trabajo 2, las cuales acumulan un tiempo de 40.96 minutos, finalmente las 6 operaciones restantes fueron trasladadas del centro de trabajo 4 al 3, transfiriéndole un total de 70.39 minutos.

B.3 Balance propuesto motor HSTA

Una vez establecido el ritmo de producción al que se deben completar los motores, realizaron ajustes en la distribución de las operaciones según sus tiempos y el flujo normal de trabajo, obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro No. 30 Segundo balance de línea propuesto para el motor HSTA

HSTA							
CENTRO DE TRABAJO	No. OP	OPERACIONES	Tiempo de carga (min/und)	Tiempo por centro (min/und)	Tiempo disponible	Capacidad teórica de	CAPACIDAD TEÓRICA DEL
1	1	Ensamblar rotor en el estator	15.50	84	1089.83	13	
	2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	5.84				
	3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	3.66				
	4	Colocar placa y flanges	3.66				
	5	Instalar el freno	3.00				
	6	Pruebas eléctricas	2.50				
	7	Preparación para "etching"	8.25				
	8	Realizar "Etching"	5.25				
	9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88				
	10	Instalar la caja del bastidor	3.43				
	11	Instalar cable de bloqueo a caja del bastidor	13.82				
	12	Instalar el cable de freno y tapa	7.88				
2	13	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) HSTA	15.17	90.38	1089.83	12	12
	14	Aplicar Epoxy (STADHES019)	7.82				
	18	Realizar "crimping"	6.93				
	19	Instalar los pines en el conector	7.93				
	20	Cerrar caja de ensamble	7.87				
	21	Realizar pruebas preliminares	12.37				
	23	Aplicar Epoxy ES-460	9.77				
	27	Quitar los moldes para Epoxy e inspección visual	3.75				
28	Aplicar químico "sealant"	18.77					
3	29	Instalar conectores al conector box	3.62	76.99	1089.83	14	
	30	Instalar placa de recubrimiento (Cover Plate) y cobertura del freno (Cable bracket)	3.67				
	31	Aplicar sealant	12.00				
	32	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los conectores	15.85				
	35	Realizar pruebas eléctricas	6.45				
	36	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los tornillos restantes	17.00				
	37	Realizar inspección visual	18.40				
Ins.Cld	38	Empacar el ensamble	2.40	2.40	1089.83	454	
Hornos	15	Curar epoxy (STADHES019) a 95°C	60.00	270.00	10779	39	
	22	Pre calentar moldes Epoxy ES-460	30.00				
	25	Curar 95°C Epoxy ES-460	120.00				
	33	Curar a 95°C Sealant	60.00				
Aire Libre	16	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	20.00	180.00	4311	23	
	24	Curar temperatura ambiente Epoxy ES-460	120.00				
	26	Dejar enfriar el ensamble	20.00				
	34	Dejar enfriar a temperatura ambiente Sealant	20.00				
Touch Time			253.44				

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

A través del cuadro No 30, se puede observar inicialmente que se pasó de tener 4 centros de trabajo a solo 3, recurso que será aprovechado en el área de producción de resolvers de North Main basado en los requerimientos e indicaciones de la supervisora de la línea. Por otra parte, ninguno de los centros de trabajo está por debajo de los 75.45 min establecidos como el takt time, sin embargo, según la distribución de operaciones se logra evidenciar que aun cuando el centro de trabajo 2 es el que presenta un mayor tiempo en sus operaciones, la capacidad de producción alcanza los 12 motores requeridos.

Por otra parte, debido a la complejidad de las operaciones así como los tiempos asociadas a estas, no se pueden separar en operaciones más sencillas, implicando que la distribución de los tiempos presenten una variación 13.39 minutos del centro de trabajo 2 al 3 y de 6.38 minutos del centro de trabajo 1 al 2, sin embargo como se mencionó anteriormente, a través de este flujo de trabajo presentado en esta propuesta, es posible producir 12 motores HSTA requeridos semanalmente.

Cuadro No. 31 Cambios realizados en la distribución de tareas para el motor HSTA

Cambios por balanceo de línea en motor HSTA			
No.Op	Operación	Tiempo de operación	Cambio
17	Sand Blast de conectores	12.40 min	Se asignó a un operario externo a la celda de producción de motores
9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88	Ambas operaciones pasaron de realizarse en el centro de trabajo 2 al 1
10	Instalar la caja del bastidor	3.43	
11	Instalar cable de bloqueo a caja del bastidor	13.82	
12	Instalar el cable de freno y tapa	7.88	
19	Instalar los pines en el conector	7.93	Ambas operaciones pasaron de realizarse en el centro de trabajo 3 al 2
20	Cerrar caja de ensamble	7.87	
21	Realizar pruebas preliminares	12.37	
23	Aplicar Epoxy ES-460	9.77	
27	Quitar los moldes para Epoxy e inspección visual	3.75	
28	Aplicar químico "sealant"	18.77	
31	Aplicar sealant	12.00	Ambas operaciones pasaron de realizarse en el centro de trabajo 4 al 3
36	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los tornillos restantes	17.00	
37	Relizar inspección visual	18.40	

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Tras analizar el cuadro No 31 se puede evidenciar que los cambios realizados finalizaron en la transformación de 4 centros de trabajo a solo 3, inicialmente la operación sand blast a los conectores realizados en el centro de trabajo 2 se asignó operario externo a la fabricación de los motores pero perteneciente a la misma línea North Main, esto debido a que el mismo realiza procesos similares y tiene el tiempo para ocuparse de esta tarea en su jornada diaria, esto cambio se puede justificar debido a que dicha operación no forma parte del flujo normal del ensamble del motor, esta consiste en prepararlos para cuando sea necesarios y así poder utilizarlos sin tener que interrumpir el flujo del trabajo.

Por otra parte, al centro de trabajo 1 se le asignaron 4 operaciones del centro de trabajo 2 las cuales representan un total de 36.01 minutos, de la misma manera, al centro de trabajo 2 se le asignaron 6 operaciones del centro de trabajo 3, las cuales acumulan un

tiempo de 60.46 minutos, finalmente las operaciones las 3 operaciones del centro de trabajo 4 fueron transferidas del centro de trabajo 3, las cuales suma un total de 47.40 minutos.

B.4 Análisis económico de la propuesta

Cuadro No. 32 Resultados obtenidos para el análisis económico de la propuesta para la elaboración de 30 motores

Cálculo de flujo efectivo semanal generado por propuestas de solución				
Semana	1	2	3	4
Ingresos	\$2,346.47	\$2,346.47	\$2,346.47	\$2,346.47
Ahorro en pago de operario	\$133.77	\$133.77	\$133.77	\$133.77
Ahorro por horas extras	\$91.26	\$91.26	\$91.26	\$91.26
Costo de diseño de la propuesta	\$2,184.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Flujo de efectivo	\$387.50	\$2,571.50	\$2,571.50	\$2,571.50

Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la empresa

Con base en el cuadro No 32, se puede observar que la implementación de estas propuesta también conlleva únicamente el costo del diseño de las propuestas de solución, es decir \$2184. Por otra parte lo que se estable como ingresos, es equivalente a al motor extra que se podrán elaborar para alcanzar la demanda de 12 motores HSTA así como el motor SPOILER extra que se podrán producir para cumplir con los 18 requeridos semanalmente. Además se generará un ahorro promedio por pago de horas extras equivalentes a \$91.26, los cuales son el resultado de dividir los \$1003.88 gastados en horas extras y un ahorro en pago de operario \$133.77 referente al requerimiento de un operario menos según el balance de línea. Los cálculos respectivos se pueden observar en el apéndice G.

Por otra parte se puede evidenciar que desde la primer semana de haber implementado la propuesta, se habrá recuperado la inversión inicial requerida en estas, y se obtendrán \$387.50 de ganancia para dicha semana, por otra parte, los ingresos extras para las siguientes semanas serán de \$2571.50.

C. Balanceo de línea para 25 motores semanales.

C.1 Takt time

Como procedimiento inicial se calculó la velocidad a la que necesitan completar los motores para satisfacer la demanda del cliente.

Cuadro No. 33 Estimación del takt time propuesta 3

Cálculo takt time				
Motor	Demanda (unds/sem)	Tiempo Disponible (min)	"Takt time" (min)	"90% Takt time" (min)
Spoiler	15	2515	100.60	90.54
HSTA	10			
Total	25			

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Con base en el cuadro No 33, se puede observar que los motores deberían ser producidos a una velocidad de 100.60 min la unidad para poder cumplir con la demanda de 25 unidades, sin embargo, como se mencionó anteriormente, debido a las prácticas establecidas en la empresa, las líneas deben estar balanceadas a un 90% del takt time calculado, consecuentemente los motores se deberán producir a una velocidad de 90.54 min la unidad.

C.2 Balance propuesto para el motor Spoiler

Una vez establecido el ritmo de producción al que se deben completar los motores, realizaron ajustes en la distribución de las operaciones según sus tiempos y el flujo normal de trabajo, obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro No. 34 Tercer balance de línea propuesto para el motor Spoiler

Spoiler							
CENTRO DE TRABAJO	No. OP	OPERACIONES	Tiempo de carga (min/und)	Tiempo por centro (min/und)	Tiempo disponible	Capacidad teórica de producción	CAPACIDAD TEÓRICA DEL PROCESO (unidades)
1	1	Ensamblar rotor en el estator	15.50	64.82	1509.00	23.00	
	2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	5.84				
	3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	3.66				
	4	Colocar placa y flanges	3.66				
	5	Instalar el freno	3.00				
	6	Pruebas electricas	2.50				
	7	Preparación para "etching"	8.25				
	8	Realizar "Etching"	5.25				
	9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88				
	10	Instalar caja de unión	6.28				
2	11	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) SPOILER	9.80	68.28	1509.00	22.00	21
	12	Aplicar Epoxy (STADHES019)	7.82				
	15	Ensamblar la caja de unión (junction box)	9.70				
	16	Instalar mayas y tubings de conectores	8.07				
	17	Insertar pines en los conectores	7.93				
	18	Realizar "crimping"	6.93				
	19	Instalar conectores	5.66				
	20	Realizar pruebas preliminares	12.37				
3	21	Aplicar Epoxy ES-460	9.77	70.39	1509.00	21.00	
	23	Instalar soporte del cable (cable bracket) y cobertura del freno (brake cover)	2.63				
	24	Instalar aislante termo-encogible y STADHES019	18.92				
	27	Realizar pruebas eléctricas	6.45				
	28	Instalar cables de bloqueo (lockwire)	14.22				
	29	Realizar inspección final	18.40				
Ins.Cld	30	Empacar el ensamble	2.40	2.40	1509.00	628.00	
Hornos	13	Curar Epoxy STADHES019	60.00	180.00	10060	55.00	
	25	Curar a 95°C Epoxy ES-460 y ESTADHES019	120.00				
Aire Libre	14	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	20.00	160.00	4024.00	25.00	
	22	Curar a temperatura ambiente Epoxy ES-460	120.00				
	26	Dejar enfriar el ensamble	20.00				
Touch Time				205.89			

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

A través del cuadro No 34, se puede observar inicialmente que se pasó de tener 4 centros de trabajo a solo 3, recurso que será aprovechado en el área de producción de resolvers de North Main basado en los requerimientos e indicaciones de la supervisora de la línea. Además, los centros de trabajo están por debajo de los 90.54 minutos establecidos como el takt time, además, la distribución de los tiempos por centro de trabajo es sumamente cercano lo que se traduce en un flujo de trabajo continuo.

Por otra parte, se establece que basado en la distribución de operaciones propuesta se logrará una producción semanal de 21 motores, por lo tanto es posible cumplir con los 15 motores requeridos por el cliente.

Así mismo, se establece que existen 422.34 minutos de holgura semanales referentes a la capacidad de producir 6 motores extras los cuales serán aprovechados en

otra de las áreas de producción de North Main según necesidad basado en las indicaciones de la supervisora de la línea. A continuación, se describen los cambios realizados en la distribución de las operaciones.

Cuadro No. 35 Cambios realizados en la distribución de tareas para el motor Spoiler

SPOILER			
No.Op	Operación	Tiempo de operación	Cambio
8	Realizar "Etching"	5.25	Pasaron de realizarse en el centro de trabajo 2 al 1
9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88	
10	Instalar caja de unión	6.28	
16	Instalar mayas y tubings de conectores	8.07	Pasaron de realizarse en el centro de trabajo 3 al 2
17	Insertar pines en los conectores	7.93	
18	Realizar "crimping"	6.93	
19	Instalar conectores	5.66	
20	Realizar pruebas preliminares	12.37	"Pasó de realizarse en el centro de trabajo 4 al 2
21	Aplicar Epoxy ES-460	9.77	Pasaron de realizarse en el centro de trabajo 4 al 3
23	Instalar soporte del cable (cable bracket) y cobertura del freno (brake cover)	2.63	
24	Instalar aislante termo-encogible y STADHES019	18.92	
27	Realizar pruebas eléctricas	6.45	
28	Instalar cables de bloqueo (lockwire)	14.22	
29	Realizar inspección final	18.40	

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Con base en el cuadro mostrado anteriormente, se puede evidenciar que se realizaron múltiples cambios los cuales finalizaron en la transformación de 4 centros de trabajo a solo 3, donde al centro de trabajo 1 se le asignaron 3 operaciones del centro de trabajo 2 las cuales representan un total de 22.41 minutos, por otra parte al centro de trabajo

2 se le asignaron 4 operaciones del centro de trabajo 3 más otra del centro de trabajo 2, las cuales acumulan un tiempo de 40.96 minutos, finalmente las 6 operaciones restantes fueron trasladadas del centro de trabajo 4 al 3, transfiriéndole un total de 70.39 minutos.

C.3 Balance propuesto para el motor HSTA

Una vez establecido el ritmo de producción al que se deben completar los motores, realizaron ajustes en la distribución de las operaciones según sus tiempos y el flujo normal de trabajo, obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro No. 36 Tercer balance de línea propuesto para el motor HSTA

HSTA							
CENTRO DE TRABAJO	No. OP	OPERACIONES	Tiempo de carga (min/und)	Tiempo por centro (min/und)	Tiempo disponible	Capacidad teórica de	CAPACIDAD TEÓRICA DEL
1	1	Ensamblar rotor en el estator	15.50	76	1006.00	13	
	2	Alinear resolver (30-B-1) y prueba de alineación	5.84				
	3	Colocar aislante termo-encogible (tubing) y limpiar la caja	3.66				
	4	Colocar placa y flanges	3.66				
	5	Instalar el freno	3.00				
	6	Pruebas eléctricas	2.50				
	7	Preparación para "etching"	8.25				
	8	Realizar "Etching"	5.25				
	9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88				
	10	Instalar la caja del bastidor	3.43				
	11	Instalar cable de bloqueo a caja del bastidor	13.82				
2	12	Instalar el cable de freno y tapa	7.88	79.49	1006.00	12	10
	13	Instalar fundas de soldadura (solder sleeve) HSTA	15.17				
	14	Aplicar Epoxy (STADHES019)	7.82				
	18	Realizar "crimping"	6.93				
	19	Instalar los pines en el conector	7.93				
	20	Cerrar caja de ensamble	7.87				
	21	Realizar pruebas preliminares	12.37				
	23	Aplicar Epoxy ES-460	9.77				
3	27	Quitar los moldes para Epoxy e inspección visual	3.75	95.76	1006.00	10	
	28	Aplicar químico "sealant"	18.77				
	29	Instalar conectores al conector box	3.62				
	30	Instalar placa de recubrimiento (Cover Plate) y cobertura del freno (Cable bracket)	3.67				
	31	Aplicar sealant	12.00				
	32	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los conectores	15.85				
	35	Realizar pruebas eléctricas	6.45				
36	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los tornillos restantes	17.00					
37	Realizar inspección visual	18.40					
Ins.Cld	38	Empacar el ensamble	2.40	2.40	1006.00	419	
Hornos	15	Curar epoxy (STADHES019) a 95°C	60.00	270.00	10779	39	
	22	Pre calentar moldes Epoxy ES-460	30.00				
	25	Curar 95°C Epoxy ES-460	120.00				
	33	Curar a 95°C Sealant	60.00				
Aire Libre	16	Dejar enfriar el ensamble del epoxy STADHES019	20.00	180.00	4311	23	
	24	Curar temperatura ambiente Epoxy ES-460	120.00				
	26	Dejar enfriar el ensamble	20.00				
	34	Dejar enfriar a temperatura ambiente Sealant	20.00				
Touch Time			253.44				

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Tomando como referencia el cuadro No 36, se puede observar inicialmente que se pasó de tener 4 centros de trabajo a solo 3, recurso que será aprovechado en el área de

producción de resolvers de North Main basado en los requerimientos e indicaciones de la supervisora de la línea. Por otra parte, además solo dos de los centros de trabajo se encuentran por debajo del takt time de 90.54 minutos, no obstante, según la distribución de operaciones se logra evidenciar que aun cuando el centro de trabajo 3 es el que presenta un mayor tiempo en sus operaciones, la capacidad de producción alcanza los 10 motores requeridos.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, debido a la complejidad de las operaciones, así como los tiempos asociadas a estas, no se pueden separar en operaciones más sencillas, implicando que la distribución de los tiempos presenten una variación 15.50 minutos del centro de trabajo 2 al 3 y de 3.49 minutos del centro de trabajo 1 al 2, sin embargo a través de este flujo de trabajo presentado en esta propuesta, es posible producir 10 motores HSTA requeridos semanalmente.

Cuadro No. 37 Cambios realizados en la distribución de tareas para la tercer propuesta del motor HSTA

Cambios por balanceo de línea en motor HSTA			
No.Op	Operación	Tiempo de operación	Cambio
17	Sand Blast de conectores	12.40 min	Se asignó a un operario externo a la celda de producción de motores
9	Limpiar caja y colocar aislante termo-encogible (tubing)	10.88	Pasaron de realizarse en el centro de trabajo 2 al 1
10	Instalar la caja del bastidor	3.43	
11	Instalar cable de bloqueo a caja del bastidor	13.82	
19	Instalar los pines en el conector	7.93	Pasaron de realizarse en el centro de trabajo 3 al 2
20	Cerrar caja de ensamble	7.87	
21	Realizar pruebas preliminares	12.37	
23	Aplicar Epoxy ES-460	9.77	
27	Quitar los moldes para Epoxy e inspección visual	3.75	Pasaron de realizarse en el centro de trabajo 4 al 3
31	Aplicar sealant	12.00	
36	Instalar cables de bloqueo (lockwire) a los tornillos restantes	17.00	
37	Relizar inspección visual	18.40	

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Tras analizar el cuadro No 37 se puede evidenciar que los cambios realizados finalizaron en la transformación de 4 centros de trabajo a solo 3, inicialmente la operación sand blast a los conectores realizados en el centro de trabajo 2 se asignó operario externo a la fabricación de los motores pero perteneciente a la misma línea North Main, esto debido a que el mismo realiza procesos similares y tiene el tiempo para ocuparse de esta tarea en su jornada diaria, esto cambio se puede justificar debido a que dicha operación no forma parte del flujo normal del ensamble del motor, esta consiste en prepararlos para cuando sea necesarios y así poder utilizarlos sin tener que interrumpir el flujo del trabajo.

Por otra parte, al centro de trabajo 1 se le asignaron 4 operaciones del centro de trabajo 2 las cuales representan un total de 28.13 minutos, de la misma manera, al centro de trabajo 2 se le asignaron 6 operaciones del centro de trabajo 3, las cuales acumulan un tiempo de 41.67 minutos, finalmente las operaciones las 3 operaciones del centro de trabajo 4 fueron transferidas del centro de trabajo 3, las cuales suma un total de 47.40 minutos.

C.4 Análisis económico de la propuesta

Cuadro No. 38 Resultados obtenidos para el análisis económico de la propuesta para la elaboración de 25 motores

Cálculo de flujo efectivo semanal generado por propuestas de solución				
Semana	1	2	10	11
Ahorro en pago de operario	\$133.77	\$133.77	\$133.77	\$133.77
Ahorro por horas extras	\$91.26	\$91.26	\$91.26	\$91.26
Costo de diseño de la propuesta	\$2,184.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Flujo de efectivo	-\$1,958.97	-\$1,733.95	\$122.26	\$225.03

Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la empresa

Con base en el cuadro No 32, se puede observar que la implementación de estas propuesta también conlleva unicamente el costo del diseño de las propuestas de solución, es decir \$2184. Por otra parte, se generará un ahorro promedio por pago de horas extras equivalentes a \$91.26, los cuales son el resultado de dividir los \$1003.88 gastados en horas extras y un ahorro en pago de operario \$133.77 referente al requerimiento de un operario menos según el balance de línea. Los cálculos respectivos se pueden observar en el apéndice G.

Además, se puede evidenciar que una vez implementada la propuesta, se recuperará la inversión inicial hasta la semana número 10, generando un flujo neto de efectivo de \$122.26 y a partir de dicha semana, se obtendrá un ahorro de \$225.03 semanalmente.

D. Plan de implementación para la propuesta de Balanceo de línea

Para el desarrollo del plan de implementación se procede a utilizar una serie de herramientas ingenieriles de acuerdo con cada etapa, para ello se establecen preguntas y las herramientas respectivas que abarcan la acción a realizar, en el siguiente cuadro se muestra lo mencionado.

Cuadro No. 39 Plan de Implementación

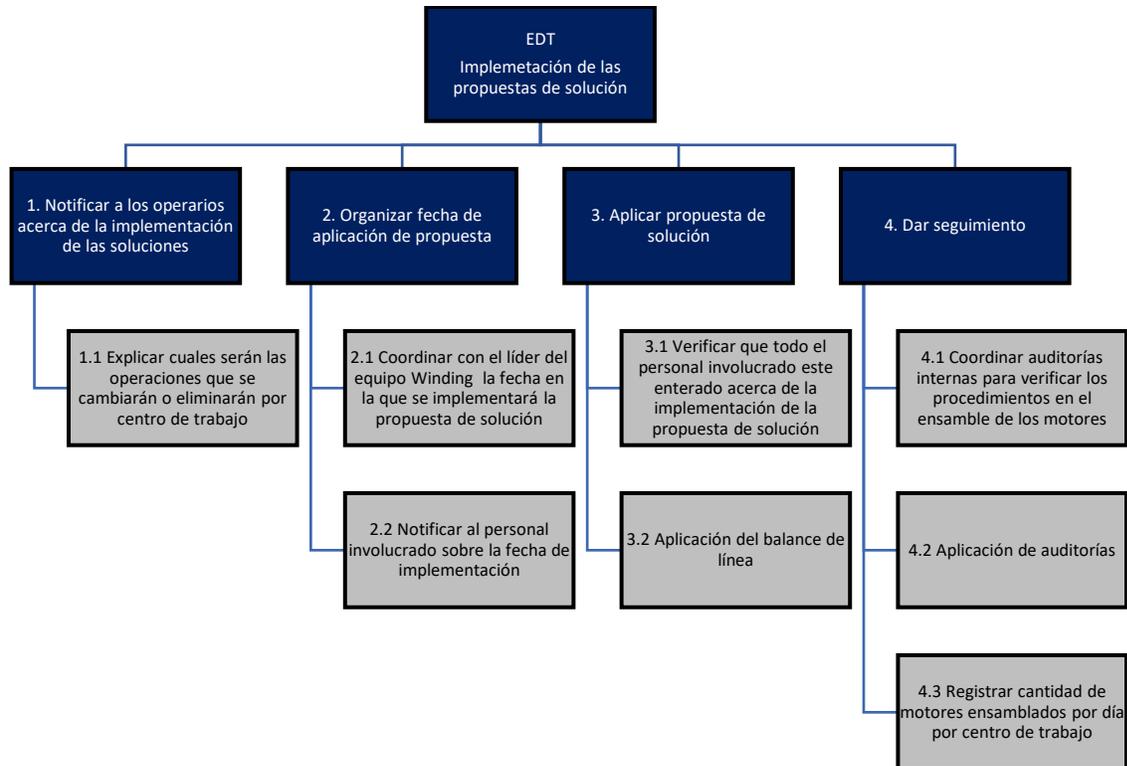
Plan de implementación	
Pregunta	Herramienta utilizada
¿Qué hay que hacer?	EDT/WBS
¿Cuándo hay que hacerlo?	Diagrama de Gantt
¿Quién debe hacerlo?	Matriz Raci
¿Qué pasa si sucede algo no planeado?	Gestión de riesgos

Fuente: Elaboración propia con información recolectada en la empresa

Como es posible observar, en el plan de implementación se desarrollan las herramientas: Estructura de Desglose de Trabajo (EDT), el Diagrama de Gantt, además, la Matriz RACI y, finalmente, la herramienta AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos), todas estas explicadas a continuación.

1. EDT/WBS

La estructura de desglose de trabajo es desarrollada con 4 diferentes fases, cada una de ellas con distintas actividades a realizar, con el fin de abarcar todas las funciones en el proceso en implementación, por lo tanto, en el siguiente diagrama se describe lo mencionado.



Fuente: Elaboración propia

Figura No. 20 Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) para la propuesta A

De acuerdo con la figura No 20, se detallan cada una de las fases correspondientes al plan de implementación; primeramente, es sumamente importante dar a conocer a los operarios acerca de la implementación de las soluciones, asimismo, se deben de definir las fechas de aplicación de las propuestas con el fin de que no afecte el proceso y personal tome en cuenta la implementación. Seguidamente, se genera la aplicación del balance de línea y se verifica que todos los operarios estén enterados, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento, por último, se controla el cambio a través de auditorías y dando seguimiento de la cantidad de motores ensamblados por centro de trabajo.

Por otra parte, al conocer la estructura de desglose de trabajo con respecto a la implementación se procede a desarrollar el diagrama de Gantt, mismo que se detalla a continuación.

Cuadro No. 41 Balance de línea propuesto para el motor HSTA

Actividades/Funciones	Operarios	Supervisora	Ingeniera	Líder de team Winding
Explicar cuáles son las operaciones que se cambiarán o eliminarán por centro de trabajo	I	R	C	A
Coordinar con gerencia la fecha en la que se implementará la propuesta de solución	I	R	A	C
Notificar al personal involucrado sobre la fecha de implementación de la propuesta	I	R	C	A
Verificar que todo el personal involucrado en la propuesta esté enterado del plan de implementación	C	I	R	A
Aplicación del balance de línea	R	I	C	A
Coordinación de las auditorías internas para la verificación de los procedimientos en el ensamble de motores	I	C	R	A
Aplicación de las auditorías internas	I	R	C	A
Registrar la cantidad de motores ensamblados al día por centro de trabajo	R	I	C	A

Fuente: Elaboración propia

Con base en el cuadro No 41, en cada una de las actividades se establece un responsable (R), un administrador (A), un consultor (C) y, por último, un interesado (I), esto con el fin de conocer cual rol toma con respecto a las actividades de la estructura de desglose de trabajo.

4. Análisis modal de fallos y efectos

Luego de reconocer cuales son los roles y responsabilidades de cada uno de los encargados de la empresa, se procede a generar un análisis modal de fallos y efectos, con el fin principal de identificar los posibles riesgos y cuáles son las causas respectivas, además, se lleva a cabo una evaluación que permite priorizarlas, en los siguientes cuadros de detalla la rúbrica utilizada para el desarrollo de este análisis.

Cuadro No. 42 Escala de severidad

Escala de severidad		
Valor de severidad	Descripción	Evaluación de severidad
1	Ninguno	No tiene efecto
3	Mínimo	Mayor a \$100 y menor a \$1000
7	Moderado	Mayor a \$1000 y menor a \$5000
10	Extremo	Mayor a \$5000

Fuente: Elaboración propia

Cuadro No. 43 Escala de ocurrencia

Escala de ocurrencia		
Valor de ocurrencia	Descripción	Evaluación de ocurrencia
1	Altamente improbable	1 de 100 veces
3	Poco probable	1 de 50 veces
7	Probable	1 de 10 veces
10	Altamente probable	1 de 5 veces

Fuente: Elaboración propia

Cuadro No. 44 Escala de detección

Escala de detección		
Valor de severidad	Descripción	Evaluación de severidad
1	Completamente segura	$P(\text{detección}) \geq 0.95$
3	Segura	$0.50 \leq P(\text{detección}) < 0.95$
7	Posible	$0 < P(\text{detección}) < 0.50$
10	Imposible	$P(\text{detección}) = 0$

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los cuadros anteriores, se detallan la escala de evaluación de cada uno de los aspectos, entre ellos se encuentra la severidad (SEV), la ocurrencia (OCU) y, por último, la detección (DET), es importante mencionar que, cada uno de los valores de la evaluación se definió bajo el criterio del grupo de trabajo mostrado en el cuadro No.12.

Luego de reconocer la rúbrica de evaluación de este análisis se procede a mostrar el desarrollo de este en el siguiente cuadro, en el mismo se muestra el modo potencial de fallo y el respectivo efecto, además, la causa potencial con su respectiva evaluación para determinar el número de prioridad de riesgo (RPN).

Cuadro No. 45 Análisis Modal de Fallos y Efectos para la propuesta A

MODO POTENCIAL DE FALLO	EFFECTO POTENCIAL DE FALLO	SEV	CAUSA POTENCIAL	OCU	MÉTODO DE CONTROL ACTUAL	DET	NPR	ACCIONES A TOMAR	RESPONSABLE	SEV	OCU	DET	NPR
Operario no conoce a detalle la operación asignada	Flujo de trabajo irregular en centros de trabajo	3	Largo periodo de tiempo sin realizar la operación	7	Ninguno	3	63	Capacitar inmediatamente al operario	Supervisora de la línea	-	-	-	-
Bajo desempeño de los operarios en las nuevas operaciones asignadas	Aumento en los tiempos de operación	3	Asignación de mayor carga de trabajo	7	Ninguno	3	63	Generar incentivos conforme a su desempeño y rendimiento de trabajo	Ingeniero de la línea	-	-	-	-
		3	Al operario no le gustan las operaciones asignadas	7	Ninguno	3	63			-	-	-	-
Tiempos por operación calculados incongruentes con los reales	Producción de motores menor a la estimada	7	Operarios trabajaron a un ritmo diferente al normal por estar bajo medición	3	Ninguno	3	63	Capacitar inmediatamente al operario	Supervisora de la línea	-	-	-	-
		7	Técnica de estimación de tiempos errónea	3	Ninguno	3	63	Investigación de la forma correcta de toma de tiempos y aplicación de esta	Ingeniero Junior	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la empresa

Con respecto al análisis modal de fallos y efectos para la propuesta A, se puede observar que en la evaluación de cada uno de los posibles modos de fallo se obtuvo una puntuación de 63, consecuetemente estableciendo el mismo nivel de prioridad de riesgo para todos los modos. Además, cabe destacar que la línea North Main actualmente no cuenta con ningún tipo de método para el control de estos modos de fallo. Por otra parte, también se estableció cuales son las las acciones a tomar recomendadas para corregir el efecto de estas, así como el respectivo responsable para estas acciones. Finalmente, si sucede alguno de estos modos potenciales de fallo, se debe llevar a cabo una reevaluación para medir el la efectividad de las acciones tomadas y verificar si el número de prioridad de riesgo efectivamente disminuyó.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La tasa de cumplimiento de demanda para los motores Spoiler fue de 88.63% y pasará a ser de un 100%, es decir que aumentará en un 11.37%, mientras que en los motores HSTA fue de 71.57% y pasará a ser de un 100%, lo que equivale a un aumento de 28.43% de cumplimiento, en ambos casos por encima del 5% planteado por el proyecto.

Se definió que el incumplimiento de la demanda de motores solicitada por el cliente repercutía en dos efectos, un costo de oportunidad y pago de horas extras, donde el primer efecto se vio reflejado en ventas que se dejaron de percibir equivalentes a \$82,769.99 mientras que el segundo efecto fue por pagos por horas extras trabajadas equivalentes a \$1003.88.

Se determinó que la principal causa referente a la problemática descrita, estaban dada por un flujo discontinuo en la producción de los motores.

Se concluye que, al implementar las propuestas de solución de balanceo de línea para ambos motores, se eliminarán por completo los costos de oportunidad, así como el gasto en pagos a los operarios por horas extras trabajadas.

Se determinó que, con la implementación de la propuesta para 35 motores semanales, se recuperará la inversión inicial a partir de primer semana y además se generarán \$6026.05 extras, así mismo a partir de la segunda semana se percibirán \$8210.05 extras semanalmente.

Se estimó que, con la implementación de la propuesta para 30 motores semanales, también se recuperará la inversión inicial a partir de primer semana, así mismo, se generarán \$6026.05 extras, además a partir de la segunda semana se percibirán \$2575.05 extras semanalmente.

Se calculó que, con la implementación de la propuesta para 25 motores semanales, se logrará recuperar la inversión inicial a partir de diez semanas después de hacerse implementado, así mismo, en esa misma semana se generarán \$122.26 extras, además a

partir de la siguiente semana de haber recuperado la inversión se percibirán \$225.03 extras semanalmente.

Recomendaciones

Se recomienda llevar a cabo las propuestas de solución presentadas anteriormente siguiendo estrictamente todos los procedimientos, fechas y asignación de roles establecidos en el plan de implementación.

Se recomienda generar un registro de producción diaria tanto de los motores HSTA y Spoiler, donde si no se alcanzó la meta de producción diaria establecida en las propuestas, se anoté el porqué de esta deficiencia. Y, consecuentemente en un futuro, poder establecer medidas preventivas o propuestas de solución para poder erradicar la causa raíz de dicho problema.

Se recomienda la implementación de la propuesta para 35 motores semanales, dado que es la que presenta un mayor impacto económico en los ingresos de la empresa.

Se recomienda aplicar la metodología 6S en los diferentes puestos de trabajo de manera que estos siempre se encuentren en perfectas condiciones para poder realizar las operaciones de la mejor manera posible.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert Suñé Torrents, F. G. (2004). Manual práctico de diseño de sistemas productivos. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Arbós, L. C. (2012). *Gestión de proyectos. Producción por puestos fijos. Metodología PMBOK: Organización de la producción y dirección de operaciones*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Baquero, N. (n.d). Balance de Líneas de Producción. Obtenido de <http://prof.usb.ve/nbaquero/Balance%20de%20Lineas.pdf>
- Díaz, L. F. (2005). *Análisis y Planamiento con aplicaciones a la organización policial*. San José: EUNED.
- García Criollo, R. (1998). Estudio del trabajo, Vol II. 1ª. México: McGraw-Hill.
- Gutiérrez Pulido, H., & Salazar, R. D. (2009). Control estadístico de calidad y seis sigma. México DF : Mc Graw Hill.
- Hernández, J., & Vizán, A. (2013). Lean Manufacturing conceptos, técnicas e implantación. Madrid: Escuela de Organización Industrial EOI.
- Jackson, Daniel. (2015). Statistics for Quality Control - 11.3.1 DMAIC. Industrial Press. Obtenido de: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt010VA913/statistics-quality-control/dmaic>
- Kubiak, T. M. Benbow, Donald W.. (2017). Certified Six Sigma Black Belt Handbook (3rd Edition) - 10.3.4 Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Customers (SIPOC). American Society for Quality (ASQ). Obtenido de <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011FCM01/certified-six-sigma-black/suppliers-inputs-process>
- Kurian, George Thomas. (2013). The AMA Dictionary of Business and Management - Standard industrial classification (SIC). AMACOM – Book Division of American Management Association. Obtenido de <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00C98036/ama-dictionary-business/standard-industrial-classification>

- Madariaga, F. (2018). Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos.
- Meyers, F. E. (2000). Estudios de tiempos y movimientos: para la manufactura ágil. México: Pearson.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y diseño del trabajo. México: Mc Graw Hill.
- Organización Internacional del Trabajo. (1996). Introducción al estudio del trabajo. Ginebra: Oficina Internacional del trabajo.
- Pedraza, L. M. (2010). Mejoramiento productivo aplicando herramientas de manufactura esbelta. Soluciones de Postgrado EIA Número 5.
- Rajadell, M., & Sánchez, J. (2010). Lean Manufacturing La evidencia de una necesidad. Madrid: Díaz de Santos.
- Render, B., & Heizer, J. (2014). Principios de administración de operaciones (9a. ed.). Extraído de <https://ebookcentral.proquest.com>
- Rose, Kenneth H.. (2014). Project Quality Management - Why, What and How (2nd Edition) - 8.1.1 Flow Charts. J. Ross Publishing, Inc.. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00U8Y751/project-quality-management/flow-charts>
- Ruggeri, Fabrizio Kenett, Ron S. Faltin, Frederick W.. (2007). Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability, Volumes 1-4 - Ishikawa Diagrams. John Wiley & Sons. Obtenido de <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt007NTD51/encyclopedia-statistics/ishikawa-diagrams>
- Tague, Nancy R.. (2005). Quality Toolbox (2nd Edition) - 5.21 Critical-to-Quality Tree. American Society for Quality (ASQ). Obtenido de <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00ARDS86/quality-toolbox-2nd-edition/critical-quality-tree>
- Westcott, Russell T. Duffy, Grace L.. (2015). Certified Quality Improvement Associate Handbook - Basic Quality Principles and Practices (3rd Edition) - 9.2 Bar

Chart. American Society for Quality (ASQ). Obtenido de <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00ULZ791/certified-quality-improvement/bar-chart>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: NY: Simon and Schuster.

IX. APÉNDICES

APÉNDICE A: Cálculo de horas extras trabajadas pagadas por operarios a lo largo del periodo de estudio

Descripción	Cálculo de pagos por horas extras Operario			
	1	2	3	4
Salario base por hora trabajada	¢1380	¢1580	¢1581	¢1582
Salario base por hora extra trabajada	¢1380 * 1.5 = ¢2070	¢1580*1.5 = ¢2370	¢1580*1.5 = ¢2371	¢1580*1.5 = ¢2372
Horas trabajadas	62	62	62	62
Representación económica colones	¢2070 * 62 = ¢128340	¢2370 * 62 = ¢146940	¢2370 * 62 = ¢146940	¢2370 * 62 = ¢146940
Representación económica dólares	¢128340/566.96 = \$226.37	¢146940/566.96 = \$259.17	¢146940/566.96 = \$259.17	¢146940/566.96 = \$259.17
Total Colones	¢569160 / 566.96			
Equivalente en dólares	\$1,003.88			

APÉNDICE B: Cantidad de motores exportados a lo largo del periodo de estudio

MOTORES →		HSTA		Spoiler	
Mes	Semana	Demanda	Oferta	Demanda	Oferta
ENERO	2	15	8	20	17
	3	15	10	20	15
	4	15	15	20	15
	5	15	8	20	20
FEBRERO	6	15	9	20	17
	7	15	9	20	20
	8	15	8	20	20
	9	15	14	20	20
MARZO	10	-	-	-	-
	11	-	-	-	-
	12	15	9	20	16
	13	15	11	20	15
	14	15	14	20	20
Total		165	118	220	195

APÉNDICE C: Bitácora de reuniones para recopilación y análisis de datos

Bitácora de reuniones		
Fecha	Asunto	Participantes
11 de Mayo del 2020	Lluvia de ideas de posibles causas relacionadas a la problemática del producción de motores	Operarios de celda de producción motores HSTA y Spoiler
		Ingeniero Junior
		Supervisora de la línea
29 de Junio del 2020	Desarrollo de las escalas de severidad, ocurrencia y detención para el análisis AMFE así como para completar la técnica en general	Operarios de celda de producción motores HSTA y Spoiler
		Ingeniero Junior
		Supervisora de la línea
		Ingeniero de la línea

APÉNDICE D: Cálculos de estimación económica por costo de oportunidad del motor Spoiler

MOTOR	→	SPOILER
Cantidad total de motores requeridos en fechas donde el cliente no indicó requerir más motores		100
Cantidad total de motores producidos en fechas donde el cliente no indicó requerir más motores		80
Diferencia		20
Representación económica por costo de oportunidad		\$25,061.00
Cantidad total de motores requeridos en fechas donde el cliente indicó requerir más motores		120
Cantidad total de motores producidos en fechas donde el cliente indicó requerir más motores		115
Diferencia		5
Representación económica por costo de oportunidad		\$6,265.25

APÉNDICE E: Cálculos de estimación económica por costo de oportunidad del motor HSTA

MOTOR →	HSTA
Cantidad total de motores requeridos en fechas donde el cliente no solicitó la producción total de motores	75
Cantidad total de motores producidos en fechas donde el cliente no solicitó la producción total de motores	47
Diferencia	28
Representación económica por costo de oportunidad	\$30,615.76
Cantidad total de motores requeridos en fechas donde el cliente sí solicitó la producción total de motores	90
Cantidad total de motores posibles a producir en fechas donde el cliente sí solicitó la producción total de motores	71
Diferencia	19
Representación económica por costo de oportunidad	\$20,774.98

APÉNDICE F: Cálculos de la representación económica para la propuesta de 35 motores semanales

Cálculo de flujo efectivo semanal generado por propuestas de solución de 35 motores				
Semana	1	2	3	4
Ingresos	$\$1253.05*3 + \$1093.42*4 = \$8132.83$	$\$1253.05*3 + \$1093.42*4 = \$8132.83$	$\$1253.05*3 + \$1093.42*4 = \$8132.83$	$\$1253.05*3 + \$1093.42*4 = \$8132.83$
Ahorro por horas extras	$\$1003.88/11 = \91.26	$\$1003.88/11 = \91.26	$\$1003.88/11 = \91.26	$\$1003.88/11 = \91.26
Costo de diseño de la propuesta	$\$168*13 = \2184	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Flujo de efectivo	$\$8132.83 + \$91.26 - \$2184 = \6026.05	$\$8132.83 + \$77.22 = \$8210.05$	$\$8132.83 + \$77.22 = \$8210.05$	$\$8132.83 + \$77.22 = \$8210.05$

APÉNDICE G: Cálculos de la representación económica para la propuesta de 30 motores semanales

Cálculo de flujo efectivo semanal generado por propuestas de solución de 30 motores				
Semana	1	2	3	4
Ingresos	$\$1253.05*1 + \$1093.42*1 = \$2346.47$	$\$1253.05*3 + \$1093.42*1 = \$2346.47$	$\$1253.05*3 + \$1093.42*1 = \$2346.47$	$\$1253.05*3 + \$1093.42*1 = \$2346.47$
Ahorro en pago de operario	$(\text{€}1580/566.96)*48 = \133.77	$(\text{€}1580/566.96)*48 = \133.77	$(\text{€}1580/566.96)*48 = \133.77	$(\text{€}1580/566.96)*48 = \133.77
Ahorro por horas extras	$\$1003.88/11 = \91.26	$\$1003.88/11 = \91.26	$\$1003.88/11 = \91.26	$\$1003.88/11 = \91.26
Costo de diseño de la propuesta	$\$168*13 = \2184	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Flujo de efectivo	$\$2346.47 + \$133.77 + \$91.26 - \$2184 = \$387.50$	$\$2346.47 + \$133.77 + \$91.26 = \2571.50	$\$2346.47 + \$133.77 + \$91.26 = \2571.50	$\$2346.47 + \$133.77 + \$91.26 = \2571.50

APÉNDICE H: Cálculos de la representación económica para la propuesta de 25 motores semanales

Cálculo de flujo efectivo semanal generado por propuestas de solución de 30 motores				
Semana	1	2	10	11
Ahorro en pago de operario	$(\text{¢}1580/566.96)*48 = \133.77	$(\text{¢}1580/566.96)*48 = \133.77	$(\text{¢}1580/566.96)*48 = \133.77	$(\text{¢}1580/566.96)*48 = \133.77
Ahorro por horas extras	$\$1003.88/11 = \91.26	$\$1003.88/11 = \91.26	$\$1003.88/11 = \91.26	$\$1003.88/11 = \91.26
Costo de diseño de la propuesta	$\$168*13 = \2184	$\$0.00$	$\$0.00$	$\$0.00$
Flujo de efectivo	$-\$2184 + \$133.77 + \$91.26 = -1958.97$	$-1958.98 + \$133.77 + \$91.26 = -1733.95$	$-130.76 + \$133.77 + \$91.26 = 122.26$	$\$133.77 + \$91.26 = \$225.03$